Über den Einfluß kolloidaler Substanzen auf die Überführungszahl und das Leitvermögen einiger Elektrolyte.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

hohen philosophischen Fakultät

der

Vereinigten Friedrichs-Universität Halle-Wittenberg

vorgelegt von

Paul Richter

aus Gollantsch.

Halle a. S.

1912.

Referent: Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. E. Dorn.
Termin der mündl. Prüfung: 11. Dezember 1911.

Meinem lieben Vater

in Dankbarkeit und Verehrung gewidmet.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41544726_0054

Inhaltsübersicht.

	Seite
Einleitender und theoretischer Teil.	7
Experimenteller Teil.	
I. Die Überführungszahl.	19
a. Der Überführungsapparat.	19
b. Versuchsanordnung.	22
c. Berechnung der Überführungszahl.	25
d. Herstellung der Lösungen.	26
e. Analysen.	29
f. Ergebnisse.	32
II. Das elektrische Leitvermögen und die innnere Reibung.	
a. Widerstandsbestimmungen.	35
b. Das Widerstandsgefäss.	36
c. Bestimmung der Widerstandskapazität.	37
d. Ergebnisse.	39
e. Bestimmung der inneren Reibung.	42
III. Einige kataphoretische und ultramikroskopische Untersuchungen.	
a. Kataphoretische Beobachtungen.	45
b. Ultramikroskopie.	46
Zusammenstellung der gefundenen Resultate.	50

Einleitender und theoretischer Teil.

Die Wichtigkeit der von Hittorf [1]) zuerst ermittelten Überführungszahlen der Ionen ist heute allgemein anerkannt. Seit Kohlrausch[2]) die grundlegenden Beziehungen zwischen Überführungszahlen und Leitvermögen aufgedeckt hat, ist die Bedeutung dieser Konstanten erheblich gestiegen, und das Interresse für ihre Ermittlung hat weit um sich gegriffen. Ich erinnere nur an Namen wie Lenz, Arrhenius, Stephan, J. J. Thomson, Jahn, Bein, Goldhaber und viele mehr, die sich alle mit großem Eifer diesem Gegenstand gewidmet haben. Und zwar sind ihre Untersuchungen mit einer solchen Gründlichkeit und Genauigkeit und in so umfassender Weise durchgeführt worden, daß man dieses Gebiet — wenigstens für wässrige Lösungen bei „Zimmertemperatur" — heutzutage wohl als abgebaut betrachten kann.

Relativ wenig brauchbares Material liegt dagegen über solche Untersuchungen vor, die sich damit befassen, die Einflüsse kleiner Mengen eines Nichtleiters auf die Überführungszahl und auf das elektrische Leitvermögen festzustellen. Wohl ist besonders in den letzten Jahren,

---

[1]) Pogg. Ann. 89 S. 177 98 S. 1 103 S. 1 106 S. 337 und 513 1853—59. — Abdruck in Ostw. Kl. der ex. Wiss. Nr. 21 und 23.

[2]) Wied. Ann. 6 S. 167 1879.

des öfteren versucht worden, an der Hand experimenteller Daten auf diese interessante Frage zu antworten. Ich verweise hier auf die in ziemlicher Vollständigkeit zusammengestellte diesbezügliche Literatur in Eisensteins [1]) „Über den Einfluß des Lösungsmittels auf die Wanderungsgeschwindigkeit der Ionen" und begnüge mich damit, die dort gemachte Literatur-Zusammenstellung durch Angabe der seit jener Zeit erschienen wichtigeren Arbeiten zu vervollständigen.

1) H. Jones und Ch. Lindsay. „Eine Studie über das Leitvermögen einiger Salze in Wasser, Methyl-, Äthyl- und Propylalkohol und in Mischungen dieser Lösungen". Amer. Chem. J. 28 S. 329 1902.

2) W. A. Roth. „Elektrisches Leitvermögen von KCl in Wasseräthylalkoholgemischen"

Jahn. Ztschr. f. phys. Chem. 42 S. 209 1902.

3) L. Kahlenberg und O. E. Ruhoff. „Die elektrische Leitfähigkeit von Lösungen in Amylamin."

Jahn 7 S. 257 1903.

4) H. E. Patten „Einfluß des Lösungsmittels auf die elektrolytische Leitung."

Jahn 7 S. 153 1903.

5) Carrara. „Einfluß des Lösungsmittels auf die Überführungszahlen."

Gaz. chim. 33 S. 241 1903.

6) A. Charpentier. „Elektrolytische Wanderung gewisser Ionen in Gelatine."

1) Diss. phil. Berlin 1902.

C. R. 136 S. 1652 1903.

7) A. Lobry de Bruyn und J. Jungins. „Über die elektrische Leitfähigkeit der Hydrate des Nickelsulfats in Lösung von Methylalkohol."

Rec. trav. chim. 22 S. 426 1903.

8) E. C. Franklin und H. P. Cady. „Über die Geschwindigkeit der Jonen von in flüssigem Ammoniak gelösten Salzen."

J. Amer. chem. soc. 26 S. 499 1904.

9) C. Dempwolff. „Ionenwanderung in Methylalkohol als Lösungsmittel."

Phys. Zeitschr. 5 S. 637 1904.

10) B. Schapire „Beitrag zur Kenntnis des elektrischen Leitvermögens von Natrium- und Kaliumchlorid in Wasseräthylalkoholgemischen."

Jahn 49 S. 513 1904.

11) H. C. Jones und H. P. Basselt. „Bestimmung der relativen Geschwindigkeit der Ionen des Silbernitrats in Mischungen der Alkohole mit Wasser, und die Leitfähigkeit solcher Lösungen."

Amer. Chem. J. 32 S. 522 1904.

12) H. C. Jones und E. C. Bingham. „Leitfähigkeit und Zähigkeit gewisser Salze in Mischungen von Azeton mit Methylalkohol, Äthylalkohol und Wasser."

Amer. Chem. J. 34 S. 481 1905.

13) H. C. Jones und Ch. A. Rouiller. „Die relative Wanderungsgeschwindigkeit des Silbernitrations in

Wasser, Methylalkohol, Äthylalkohol und Azeton und in den Mischungen dieser Lösungsmittel, sowie die Leitfähigkeit genannter Lösungen."

Amer. Chem. J. 36 S. 427 1906.

14) H. J. Jones, E. C. Bingham und L. Mc. Master, „Über die Leitfähigkeit und innere Reibung von Lösungen gewisser Salze in den Lösungsgemischen: Wasser, Methylalkohol, Äthylalkohol und Azeton."

Amer. Chem. J. 57 S. 193 1906.

15) H. J. Jones und L. Mc. Master. „Leitfähigkeit und Zähigkeit von Lösungen gewisser Salze in Wasser, Methylalkohol, Äthylalkohol, Azeton und binären Mischungen dieser Lösungsmittel."

Amer. Chem. J. 36 S. 325 1906.

16) A. Dumanski. „Über die Leitfähigkeit der Elektrolyte in wässrigen Lösungen von Gelatine."

Jahn 60 S. 553 1907.

17) A. Dumanski „Leitfähigkeit von Elektrolyten in wässrigen Gelatinelösungen."

J. d. russ. phys. chem. Ges. 39. Chem. T. S. 1379 1907.

18) M. R. Schmidt und H. C. Jones. „Leitfähigkeit und Reibung in Lösungsmittelgemischen, die Glycerin enthalten."

Amer. Chem. J. 42 S. 37 1909.

Wie aus der angegebenen Literatur ersichtlich ist, erstrecken sich die weitaus meisten Untersuchungen dieses Gebietes auf die Feststellung von Alkoholeinflüssen; nur

vereinzelt werden Einflüsse von andern Flüssigkeiten wie Benzol, Toluol, Glycerin, Ammoniak und dergleichen untersucht; und kaum nennenswert sind die wenigen Arbeiten, die die beeinflussende Wirkung organischer Kolloide zum Gegenstand ihrer Untersuchung machen.

Da es nun aber, besonders seit den schon erwähnten bahnbrechenden Untersuchungen von Kohlrausch, von außerordentlichem Werte ist, ein möglichst umfassendes Zahlenmaterial auch auf diesem Gebiete zu erhalten, habe ich auf Veranlassung meines sehr verehrten Lehrers, des Herrn Geh. Reg.-Rats Prof. Dr. Dorn, mich der Aufgabe unterzogen, durch einige genaue Messungen zur Ausfüllung der hier vorhandenen großen Lücke beizutragen.

Bevor ich jedoch zu meinen experimentellen Untersuchungen selbst schreite, möchte ich einige kurze theoretische Betrachtungen über den zu behandelnden Stoff vorausschicken.

Leitet man, wie man sich ausdrückt, den elektrischen Strom durch einen verdünnten Elektrolyten, so entsteht infolge des dadurch eintretenden Potentialunterschiedes eine Bewegung der Ionen nach den Elektroden hin, und zwar so, daß das Metall bezw. der Wasserstoff zur Kathode, das Säureradikal und das Halogen zur Anode wandert. Auf diese Weise wird durch die Ionen — und zwar nur durch die im Sinne der Arrheniusschen Dissoziationstheorie freien Ionen! — der Transport der Elektrizität durch den Elektrolyten hindurch besorgt. An

den Elektroden angekommen, geben die Ionen ihre Ladung ab, d. h. sie gehen in den unelektrischen Zustand über und werden nun je nach dem chemischen Verhalten der Elektroden ausgeschieden oder werden (an der Anode) eine Verbindung mit dem Metall der Elektrode eingehen. So wird z. B. in den vorliegenden Untersuchungen mit Chloridlösungen unter Anwendung einer Zinkelektrode das Metall der Anode mit dem dort sich ansammelnden unelektrischen Chlor in Verbindung treten und als Zinkchlorid in Lösung gehen. Die durch diesen Vorgang hervorgerufenen Konzentrationsänderungen in der Umgebung der Elektroden sind zuerst von Faraday[1]) beobachtet worden, der im Anschluß hieran die ersten Versuche einer quantitativen Bestimmung der Überführungszahlen von Ionen anstellte. Nach ihm haben Daniell und A. Miller[2]) — durch ihre Untersuchungen über die Elektrolyse der Salze darauf geführt — dieser auffallenden Erscheinung der Konzentrationsänderungen größere Aufmerksamkeit gewidmet. Und um dieselbe Zeit werden unabhängig hiervon ähnliche Versuche und Beobachtungen von einer Menge von Physikern, so z. B. von Pouillet[3]) berichtet. Aber sonderbarerweise ist dieser einfache Versuch ganz allgemein mißverstanden und falsch gedeutet worden. Erst Hittorf führt in den Seite ?[1]) angegebenen klassischen Untersuchungen die Erschei-

[1]) Pogg Ann. 32 S. 436
[2]) ibid. 64 S. 18
[3]) ibid. 65 S. 474

nung auf den richtigen Grund zurück; ihm gebührt das Verdienst, die einschlägigen Verhältnisse klar erkannt zu haben.

Während man vor ihm zu dem Glauben neigte, daß die jeweilig durch den Querschnitt des Elektrolyten wandernde Anzahl positiver und negativer Ionen gleich sei, wies er zunächst darauf hin, daß dies durchaus nicht der Fall sei. Er zeigte damit, daß die Erscheinungen der Leitung und der Zersetzung an den Elektroden durchaus nicht in so engem Verhältnis zu einander stehen, wie man bis dahin allgemein angenommen hatte. Und er suchte nun die Erklärung für die Änderungen der Konzentration in einer anderen Ursache als der einfachen Leitung. Er fand sie in der sogenannten „Wanderungsgeschwindigkeit" der Ionen. Zunächst stellte er fest, daß diese für die verschiedenen Ionen verschieden ist, und dann zeigte er, daß und wie sich die „relativen Wanderungsgeschwindigkeiten" der Ionen durch experimentelle Bestimmungen der Konzentrationsänderungen ermitteln lassen.

Bezeichnen wir mit n die Anzahl der während der Elektrolyse durch den Querschnitt wandernden Kationen, mit n' die Anzahl der gleichzeitig durchgewanderten Anionen, mit u die Wanderungsgeschwindigkeit des Kations, mit v die des Anions, dann besteht nach Hittorf die Beziehung:

$$\frac{n'}{n} = \frac{v}{u} \quad , \qquad 1)$$

woraus sich ohne weiteres ergibt:

$$\frac{n'}{n+n'} = \frac{v}{u+v} = n_a \,, \qquad 2)$$

und diesen Quotienten nennt Hittorf die Überführungszahl des Anions und bezeichnet sie mit n_a. Ihre Bedeutung wird durch folgende Überlegung sofort verständlich: Wandern während der Elektrolyse n Kationen von der Anode zur Kathode hinüber, so lassen diese ebensoviele freie Anionen an der Anode zurück. Wandern außerdem gleichzeitig n' Anionen in entgegengesetzter Richtung in den Anodenraum, so werden dadurch an der Kathode n' Kationen frei. Es wird also die Gesamtzahl der an beiden Elektroden ausgeschiedenen freien Ionen die gleiche, nämlich n+n' sein. Und somit erhalten wir nun folgende Deutung für die Überführungszahl des Anions:

Sie ist die durch den Querschnitt gehende Anzahl der Moleküle des Anions im Verhältnis zu der gleichzeitig zersetzten Anzahl der Moleküle des Elekrolyten. Oder mit andern Worten: Sie ist das Verhältnis der übergeführten zur ausgeschiedenen Anionenmenge. Oder nach Gleichung 2): Sie ist das Verhältnis der Geschwindigkeit des Anions zur Summe der Geschwindigkeiten des Anions und Kations.

In ganz entsprechender Weise ergibt sich die Überführungszahl des Kations als:

$$n_k = \frac{n}{n+n'} = \frac{u}{u+v} \,. \qquad 3)$$

Aus 2) und 3) folgt durch einfache Addition:

$$n_a + n_k = 1 \,, \qquad 4)$$

d. h. die Summe der Überführungszahlen ist gleich 1.

Durch Division folgt aus 2) und 3):

$$\frac{n_a}{n_k} \quad \frac{v}{u} \,, \qquad 5)$$

d. h. die Überführungszahlen verhalten sich wie die Geschwindigkeiten der Ionen des Elektrolyten zueinander.

Kohlrausch[1]) machte es sich nun zur Aufgabe, eine Beziehung zwischen den Hittorf'schen Überführungszahlen und dem elektrischen Leitvermögen aufzustellen. Zu diesem Zwecke geht er von folgender Überlegung aus: Er stellt sich einen Leiter zweiter Klasse in cylindrischer Gestalt vom Querschnitt 1 und von der Länge 1 vor. Durch ihn schickt er einen elektrischen Strom so hindurch, daß die Stromlinien parallel der Cylinderachse gehen.

Die wirkende elektromotorische Kraft sei e. Ferner sei für das Potentialgefälle 1:

U Die Geschwindigkeit des Kations,

V die des Anions,

ε die elektrische Ladung des gr- Äquivalentes,

η die Zahl der in der Cylinderflüssigkeit (1 ccm) gelösten[2]) elektrochemischen Moleküle.

---

[1]) Wied. Ann. 6 S. 167 1879.

[2]) Diese an Kohlrausch sich anlehnende Betrachtung gilt eigentlich nur für unendliche Verdünnung.

Nach Arrhenius sind nicht die gelösten, sondern die dissoziierten Moleküle bei der Leitung beteiligt. Vgl. S. 11.

Dann ist die von den Anionen in der Zeiteinheit transportierte Elektrizitätsmenge

$$= V \eta \varepsilon e ,$$

die von den Kationen transportierte

$$= U \eta \varepsilon e .$$

Und die Summe dieser beiden Elektrizitätsmengen gibt die Stromstärke:

$$J = (U+V) \eta \varepsilon e.$$

Es gilt nun andrerseits nach dem Ohm'schen Gesetz:

$$J = \frac{e}{w} .$$

Hierbei ist:

$$w = \frac{l}{\varkappa q} ,$$

d. h., da wir $l = 1$ und $q = 1$ gesetzt haben:

$$w = \frac{1}{\varkappa} ,$$

sodaß also wird:

$$J = e\varkappa ,$$

und zwar bedeutet $\varkappa$ das spezifische Leitvermögen des Leiters.

Durch Gleichsetzung ergibt sich also:

$$\varkappa = (U+V) \eta \varepsilon .$$

Wird nun noch

$$U\varepsilon = u$$
$$V\varepsilon = v$$

gesetzt, so ergibt sich:

$$\varkappa = (u+v) \eta .$$

Nach der Definition ist das äquivalente Leitvermögen Λ gleich dem spezifischen Leitvermögen $\varkappa$, dividiert durch die Molekülzahl η. Also ist in unserem Falle:

$$\Lambda = u+v \quad .$$

Nun ist aber (s. S. 14):

$$n_a = \frac{v}{u+v} \quad ,$$

$$n_k = \frac{u}{u+v} \quad ;$$

also wird:

$$n_a = \frac{v}{\Lambda} \quad ,$$

$$n_k = \frac{u}{\Lambda} \quad ,$$

und somit haben wir eine einfache Beziehung zwischen der Hittorf'schen Überführungszahl und dem elektrischen Leitvermögen gewonnen.

Die Größen u und v werden kurz „Beweglichkeiten" genannt und sind von Kohlrausch mit l_k und l_a bezeichnet worden. Bei dieser Bezeichnung wird also:

$$\Lambda = l_k + l_a$$

$$n_a = \frac{l_a}{\Lambda} \qquad n_k = \frac{l_k}{\Lambda}$$

und mit Berücksichtigung von Gleichung 4)

$$l_a = n_a \Lambda \qquad l_k = (1-n_a)\Lambda \; .$$

In der Gleichung für Λ ist das Gesetz von der unabhängigen Wanderung der Ionen ausgesprochen.

Wie die Gleichungen zeigen, läßt sich aus dem Äquivalentleitvermögen und der Überführungszahl die

Beweglichkeit der Ionen in unendlicher Verdünnung berechnen. Kennt man — durch Untersuchungen an andern Elektrolyten — die Werte von l_a und l_k für einen Elektrolyten, so gibt ihre Summe sofort das Äquivalentleitvermögen.

Experimenteller Teil.

I.

Die Überführungszahl.

a.) Der Ueberführungsapparat.

Es ſtanden mir drei Apparate verſchiedener Konſtruktion zur Verfügung.

Zunächſt wurde der von W. Bein in Wied. Ann. 46, S. 38 angegebene Apparat benutzt, der ſich jedoch nicht als zweckmäßig erwies. In ihm erhalten nämlich die Löſungen der Elektrolyte die Form einer langen Flüſſigkeitsſäule von geringem Querſchnitt. Hierdurch wird natürlich der durchgeſchickte Strom ſehr geſchwächt, und daraus wieder folgt, daß die Konzentrationsänderungen an den Elektroden innnerhalb einiger Stunden nur recht gering ſein können, wenn nicht ungeheuer ſtarke Ströme zur Verwendung gelangen, die aber doch ihrerſeits dann wieder eine den Verſuch ſtörende Erhitzung bewirken würden. Ein zweiter Mangel des Apparats liegt darin, daß man genötigt iſt, eine verhältnismäßig bedeutende Flüſſigkeitsmenge abfließen zu laſſen, um ſicher die geſamte Löſung aus der Umgebung der Elektrode auf die Wage und zur Analyſe zu bringen. Und hierdurch werden ſich doch die an und für ſich ſchon recht minimalen Konzentrationsänderungen auch

noch in einem großen Flüssigkeitsquantum verbergen.

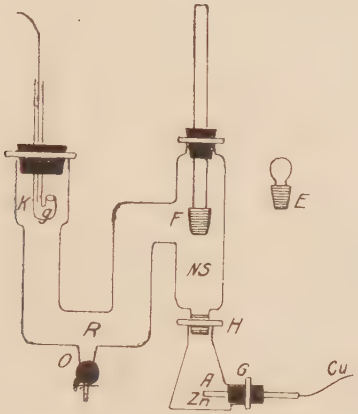
Wie aus dem Gesagten ersichtlich, wird dieser sogenannte „Ausflußapparat" also leicht zu schwankenden und unsicheren Resultaten führen können, und seine Verwendung wird deshalb für Untersuchungen wie die vorliegenden, bei denen es auf die genaue Feststellung von meistens nur sehr geringen Konzentrationsunterschieden ankommt, nicht empfehlenswert sein.

Ein zweiter Apparat war der nach dem alten Hittorfschen konstruierte Apparat mit Membranen.[1]) Er ist seinerzeit mit recht gutem Erfolge bei den Überführungsversuchen Ruschels,[2]) bei denen es sich allerdings nur um reine Elektrolyte handelte, benutzt worden. Nicht einwandsfrei verwendbar ist jedoch der Apparat, wenn mit Kolloid-Zusätzen gearbeitet wird. In diesem Falle werden nämlich die kolloiden Teilchen vom Strom mitgeführt, an der Membran festgehalten und ausgeflockt und bilden nun dort eine einen störenden Widerstand erzeugende Schicht. Es wird also auch dieser Apparat für die vorliegende Arbeit nicht in Betracht kommen.

Als sehr geeignet für meine Zwecke erschien mir nun aber der dritte der vorhandenen Apparate, ein dem Lenzschen[3]) nachgebildeter, von Jahn[4]) mehrfach verbesserter Apparat

[1]) Pogg. Ann. 98, S. 12 1856.
[2]) Wied. Ann. 13, S. 289 1881.
[3]) Beibl. 7 S. 403 1882.
[4]) Ztschr. f. phys. Chemie. 37, S. 673 1901

von Hopfgartner.[1]) Dieser Apparat ist frei von den eben besprochenen Fehlerquellen, und er hat sich im Laufe der



Untersuchungen sehr gut bewährt. Er besteht ganz aus Glas und setzt sich aus zwei Hauptteilen zusammen: Dem Anodengefäß und demjenigen Teil, der die Kathodenflüssigkeit und die sogenannte „neutrale Schicht" aufzunehmen hat. Das Anodengefäß A hat die Form der bekannten Erlenmeyerschen Kolben. Es ist unten seitlich mit einem zur Aufnahme der Anode bestimmten Tubulus G versehen. Als Anode wurde ein Zinkstab, an den für die Stromzuleitung ein Kupferdraht angelötet war, benutzt. Sie wurde in den Tubulus G mittelst eines gut schließenden Gummipfropfens eingesetzt. In den Hals H des Kolbens ist der Aufsatz NS eingeschliffen und dadurch eine gut schließende Verbindung des Anodengefäßes mit dem zweiten Hauptteile des Apparates hergestellt.

[1]) Ztschr. f. phys. Chemie 25 S 115 1898.

Weiter ist an das zur Aufnahme der „Neutralschicht" bestimmte Mittelstück NS das u-förmige bei K erweiterte Rohr R angeschmolzen, an dessen tiefstem Punkt sich eine durch einen Quetschhahn verschließbare Ausflußöffnung O befindet. K stellt den Kathodenraum dar. Als Kathode diente in dem Gefäß g befindliches Quecksilber, das, um die lästige Gasentwicklung an der Kathode nach Möglichkeit hintanzuhalten, ungefähr ½ cm hoch mit einer öldicken Lösung von Zinkchlorid überschichtet wurde. Die Ableitung des Stromes wurde durch einen in den engen Ansatz von g hineingesteckten Kupferdraht vermittelt. Der Inhalt des Mittelstücks NS kann nach Bedarf durch Herabsenken des an einen Glasstab angebrachten eingeschliffenen Stöpsels F von A abgesperrt werden. Zur Vervollständigung des Apparats gehört noch ein in den Hals H des Anodengefäßes eingeschliffener Glasstopfen E.

Es sei hier noch erwähnt, daß Bein auf einen bei Verwendung dieses Apparats auftretenden Versuchsfehler hingewiesen hat, der durch Bildung basischer Salze an der Zinkanode verursacht werden soll. Ich habe während meiner Untersuchungen des öfteren nach diesen Salzen gesucht, habe aber keine Spur davon entdecken können, wenn die Anode schwach amalgamiert worden war.

b.) Versuchsanordnung.

Der Versuch geht in folgender Weise vor sich:

Es wird zunächst das sorgfältig gesäuberte und ge-

trocknete Anodengefäß nach Einsetzen der Anode und des geschliffenen Stöpsels F auf Centigramme genau gewogen. Hierauf wird es mit der zu elektrolysierenden Flüssigkeit gefüllt und an Stelle des Glasstopfens der Teil N S R K ohne den Stöpsel F auf den Schliff gesetzt. Von N S her wird nun weiter vorsichtig die Versuchslösung eingefüllt, bis ihr Niveau ungefähr 1 cm in den Kathodenraum hineinragt. Dann wird das Elektrodengefäß g eingesetzt und die zu elektrolysierende Lösung vorsichtig auf die in dem Schälchen befindliche Chlorzinklösung aufgeschichtet, und zwar so weit, daß sie noch einige Centimeter über den oberen Rand des Schälchens reicht. Die Übereinanderschichtung gelingt sehr leicht, d. h. man erhält eine scharfe Trennungsschicht zwischen ihnen, wenn man eine feine Korkscheibe auf dem konzentrierten Zinkchlorid schwimmen läßt. Beim Einfüllen der Lösung muß übrigens sorgfältig darauf geachtet werden, daß keine Luftblasen an den Wänden des Gefäßes haften bleiben.

Der gefüllte Überführungsapparat wird nun mit den Polen der Leitung verbunden, vor ihn wird noch ein Silbervoltameter und ein Amperemeter in den Stromkreis geschaltet und darauf der Strom geschlossen. Ist genügend Silber im Voltameter reduziert worden, so wird der Strom unterbrochen, der Stöpsel F durch vorsichtiges Senken in den Schliff des Mittelstücks eingedreht und hierdurch die Anodenflüssigkeit vollständig von der übrigen Lösung getrennt. Darauf läßt man die Kathodenflüssigkeit durch die Ausflußöffnung O ab, hebt den Teil N S R K

von dem Anodengefäß und läßt durch Lüften des Glasstöpsels F die neutrale Schicht in ein reines, trockenes, gut verschließbares Gefäß ausfließen, woselbst sie zur Analyse aufbewahrt wird. Um die Anodenflüssigkeit späterhin durch Schütteln genügend mischen zu können, pipettiert man von ihrer Oberfläche ungefähr 10 ccm, die ja noch zur neutralen Schicht gehören, heraus. Dann trocknet man den Hals des Annodengefäßes sorgfältig mit Filtrierpapier, schließt es durch den Stopfen E und bringt es auf die Wage. Diese Wägung zusammen mit der ersten liefert bei Berücksichtigung der in Lösung gegangenen Menge des Anodenmetalls das Gewicht der Anodenflüssigkeit nach der Elektrolyse. Durch kräftiges Schütteln wird nun der Anodeninhalt gleichmäßig durchgemischt und darauf analysiert. Die ursprüngliche Lösung ist ebenfalls analysiert worden. Aus der Analyse abgewogener Teile der Flüssigkeit erkennen wir die Zusammensetzung der Lösung vor und nach der Elektrolyse und können somit die Konzentrationsänderung ermitteln, die die Lösung während des Versuchs erlitten hat, d. h. wir finden auf diese Weise die übergeführte Anionenmenge. Die ausgeschiedene Anionenmenge wird aus dem Gewicht des im Voltameter reduzierten Silbers berechnet. Die neutrale Schicht muß während des Versuchs unverändert geblieben sein, d. h. ihre Analyse muß dieselbe Zusammensetzung zeigen wie die ursprüngliche Lösung. Ist das nicht der Fall, so ist der Versuch als verfehlt anzusehen. Es sind nur solche Versuche als gelungen betrachtet wor-

den, bei denen die Zusammensetzung der neutralen Schicht höchstens um 0,2% von der der ursprünglichen Lösung abwich.

Bei den vorliegenden Untersuchungen ist der Strom der Halleschen Zentrale mit 220 Volt Spannung benutzt worden; die angewandte Stromstärke betrug 0,02 Ampere. Alle nachstehenden Versuchsresultate beziehen sich auf eine Temperatur von 18°.

c.) Berechnung der Ueberführungszahl.

Es soll an einem Beispiel gezeigt werden, wie aus den gegebenen Daten die Überführungszahl berechnet worden ist. Die untersuchte Flüssigkeit ist eine $^1/_{10}$ normale LiCl—Lösung.

Analyse der ursprünglichen Lösung.

10 ccm[1]) wogen	9,9664 gr
sie enthielten	0,01840 gr Cl
d. h.	0,02205 gr LiCl

Die ursprüngliche Lösung enthielt demnach auf 10 ccm 9,9443 H_2O.

Analyse der neutralen Schicht.

10 ccm wogen	9,9669 gr
sie enthielten	0,01842 gr Cl.

Der Versuch ist also gelungen.

Voltameter.

Es wurden 0,1566 gr Ag im Voltameter reduziert. Im Anodenraum wird die äquivalente Menge Cl ausge-

[1]) Zur Messung dienten auf Abstrich geeichte Pipetten.

ſchieden; in dieſem Falle iſt alſo 0,05145 gr Cl ausgeſchieden worden, und zwar in Form von $ZnCl_2$.

Analyſe der Anodenflüſſigkeit.

Die Anodenflüſſigkeit wog	160,571	gr
10 ccm wogen	9,9704	gr
ſie enthielten	0,02060	gr Cl
d. h. die geſ. Anodenfl. enth.	0,3317	gr Cl

Hiervon ſind, wie die Voltameter-Berechnung ergeben hat, 0,05145 gr an Zn gebunden; alſo bleiben nur noch 0,28025 gr Cl, die an Li gebunden ſind; und dieſe geben 0,3357 gr Li Cl. Demnach enthielt die geſamte Anodenflüſſigkeit

$$160{,}571 - (0{,}05145 + 0{,}3357) =$$
$$160{,}571 - 0{,}38715 =$$
$$160{,}184 \text{ gr } H_2O.$$

Wie oben berechnet, enthielten die

160,184 gr H_2O 0,3317 gr. Cl

Vor der Elektrolyſe enthielten

160,184 gr H_2O 0,2963 gr Cl

d. h. es ſind während der Elektrolyſe übergeführt worden 0,0354 gr Cl. Und hieraus folgt nach der auf S. 14 für die Überführungszahl gegebenen Definition:

$$n_a = \frac{0{,}0354}{0{,}05145} = 0{,}6879$$

d. Herſtellung der Löſung.

Die zur Unterſuchung gelangenden Elektrolyte waren LiCl, KCl und HCl. Es waren reine Merckſche Präparate, und es iſt nicht für nötig befunden worden, ſie

umzukristallisieren. Das LiCl wurde vor der Wägung und Lösung zweckmäßig zu starker Glut erhitzt und darauf im Exsikkator abgekühlt. Von den Elektrolyten wurden $^1/_{10}$ normale wässrige Lösungen hergestellt. Das Lösungswasser wurde von W. Rathe-Halle bezogen und ist, da es eine Leitfähigkeit von nur $4{,}5 \cdot 10^{-6}$ besaß, ohne weiteres benutzt worden. Die folgende Tabelle gibt die Molekulargewichte der Salze und die Anzahl Gramm Salz in jeder $^1/_{10}$ normalen Lösung bei 18° an. Die Molekulargewichte sind die Summen der Atomgewichte, wie sie in Ostwalds Lehrbuch der Chemie angegeben sind:

Lösung	LiCl	KCl	HCl
Molek.Gew.	42,48	74,60	36,45
$^1/_{10}$norm. g/l	4,248	7,460	3,645

Die benutzten indifferenten Substanzen waren: Gelatineleim, Gummiarabikum, Agar-Agar und ein Pepton in so reinem Zustande, wie sie bei Merck erhältlich waren. Der Gelatineleim und das Gummiarabikum zeigten noch eine verhältnismäßig hohe Leitfähigkeit und wurden deshalb vor Herstellung der Lösung erst solange dialysiert, bis die Leitfähigkeit eine zweckentsprechende war. Das Agar-Agar dagegen wurde, da seine Leitfähigkeit von vornherein eine außerordentlich geringe war, ohne

weitere vorherige Behandlung benutzt. Ebenso das als purissimum aus dem physiologisch-chemischen Laboratorium des Dr. G. Grübler-Dresden bezogene Pepton.

Die Lösungen dieser Substanzen sind nun in folgender Weise hergestellt worden: Eine bestimmte Menge des Kolloids wurde in einer bestimmten Menge kochenden Wassers gelöst, die Lösung nach dem Erkalten an der Wasserstrahlpumpe filtriert und dann die Konzentration durch Eindampfen eines abgemessenen Volumens Lösung bei 80° und durch Wägung des Rückstandes bestimmt. Die Bestimmung wurde 3—4 mal ausgeführt und aus den erhaltenen Resultaten, die nur um einige Zehntel-Milligramm von einander abwichen, das Mittel genommen. Die so hergestellte Ausgangslösung wurde dann dazu benutzt, die anderen weniger konzentrierten Lösungen durch Verdünnen daraus zu gewinnen; und zwar ist dabei folgendermaßen verfahren worden: Es wurden 500 bzw. 250; 125; 62,5; 31,25 ccm der Lösung genau gemessen, in Literkolben gefüllt und diese dann unter kräftigem Umschütteln mit destilliertem Wasser bis zur Marke aufgefüllt. Bezeichnen wir der Bequemlichkeit wegen die ursprüngliche Lösung mit $^1/_1$ konzentriert, so haben wir also hiermit die Konzentrationsgrade

$^1/_1$, $^1/_2$, $^1/_4$, $^1/_8$, $^1/_{16}$, $^1/_{32}$

erhalten.

Und nun wurden folgende zur Untersuchung gelangenden Lösungsgemische hergestellt:

500 ccm $^1/_{10}$ n Elektr. Löſ. + 500 ccm H_2O
500 „ „ „ „ + 500 „ $^1/_1$ konz. Roll. Löſ.
500 „ „ „ „ + 500 „ $^1/_2$ „ „ „
500 „ „ „ „ + 500 „ $^1/_4$ „ „ „
500 „ „ „ „ + 500 „ $^1/_8$ „ „ „
500 „ „ „ „ + 500 „ $^1/_{16}$ „ „ „
500 „ „ „ „ + 500 „ $^1/_{32}$ „ „ „

Wir haben ſo alſo Löſungen gleichen Äquivalentgehaltes ($^1/_{20}$ normal!) mit verſchieden ſtarken Kolloidzuſätzen. Und der Einfluß des Kolloids auf die Überführungszahl des Elektrolyten iſt nun in der Weiſe beſtimmt worden, daß zuerſt die Überführungszahl des betreffenden reinen ($^1/_{20}$ normalen!) Elektrolyten feſtgeſtellt wurde und dann die der obigen Gemiſche. Für die Herſtellung ſämtlicher Löſungen ſind genau geeichte Pipetten und Maßkolben benutzt worden. Um jeden Wechſel an Gehalt durch Verdunſtung oder Waſſerentziehung zu verhindern, wurden die Löſungen in Flaſchen mit gut eingeriebenem Stöpſel aufbewahrt.

e. Analyſen.

Wie ſchon S. 14 erwähnt wurde, ſind in der vorliegenden Arbeit ſtets die Überführungszahlen des Anions beſtimmt worden; d. h. es iſt bei allen Unterſuchungen die Änderung des Chlorgehalts der Löſungen feſtgeſtellt worden. Dieſe Feſtſtellung verurſachte zunächſt einige Schwierigkeiten. Bei Salzſäuregemiſchen konnte nach der gewöhnlich für Chlorbeſtimmungen angewendeten Volhardſchen Methode titriert werden. Man läßt hierbei

zu der abgemessenen Menge des Salzsäuregemisches einen Überschuß von Silbernitrat, dessen Titer mit sorgfältig gereinigtem Kaliumchlorid möglichst genau festgestellt worden ist, aus der Bürette zutropfen. Dann setzt man 15 bis 20 Tropfen einer konzentrierten Lösung von Eisenammoniakalaun und 3–4 ccm reiner verdünnter Salpetersäure hinzu und titriert mit Rhodankaliumlösung von bekanntem Faktor das überschüssige Silbernitrat zurück. Der Farbenumschlag ist bei Einhaltung der erforderlichen Vorsichtsmaßregeln ein außerordentlich scharfer. Bei den KCl- und LiCl-Lösungen konnte die Methode jedoch nicht benutzt werden. Hier bildete sich nämlich unter der Einwirkung des anwesenden Kolloids Ferrirhodanit, das sich niederschlug, sich mit dem Silbernitrat verband und dadurch die titrierte Flüssigkeit immer wieder entfärbte. Es war also auf diese Weise kein scharf erkennbarer Farbenumschlag zu erhalten und deshalb die Methode unbrauchbar.

Auch die dann versuchte Titration nach Gay-Lussac bewährte sich nicht, da sich die Ausfällungen zu schlecht abschieden und daher auch hier kein rechter Farbenumschlag festzustellen war.

Es wurde deshalb zu einem dritten Mittel, zu der Methode nach Mohr, gegriffen: Man versetzt eine mit der Pipette genau abgemessene Menge des Elektrolyten mit einigen Tropfen neutraler Kaliumchromatlösung und läßt dann Silbernitrat zufließen. Es entsteht dabei an der Einfallsstelle eine rote Färbung von Silberchromat,

die beim Umrühren sofort verschwindet, weil sich das Silberchromat mit dem LiCl bezw. KCl zu Silberchlorid und Lithiumchromat bzw. Kaliumchromat umsetzt; es wird:

$$Ag_2\,CrO_4 + 2\,LiCl = 2\,AgCl + Li_2\,CrO_4$$
$$Ag_2\,CrO_4 + 2\,KCl = 2\,AgCl + K_2\,CrO_4$$

Ist aber alles Chlor in Chlorsilber übergeführt worden, so erzeugt der nächste Tropfen Silbernitrat eine bleibende rötliche Färbung der Flüssigkeit. — Die erhaltenen Resultate waren recht genau und gut brauchbar.

Es mußte natürlich auf die größtmögliche Genauigkeit der Analysen große Sorgfalt verwendet werden. Da die Überführungszahl doch immer aus der Differenz von zwei in der Regel nicht sehr weit auseinanderliegenden Konzentrationen berechnet wird, liegt es auf der Hand, daß kleine, kaum vermeidliche Analysenfehler große Abweichungen in den Schlußresultaten bedingen. Es wurden deshalb stets Parallelanalysen angestellt und Analysen, die stärker als 0,25 % des Wertes voneinander abwichen, nicht in Rechnung gesetzt; da ferner die Erkennung des Farbenumschlags sehr von dem subjektiven Empfinden des Beobachters und von der Beleuchtung abhängig ist, wurde Sorge dafür getragen, daß die Titration der Anodenflüssigkeit stets neben der der ursprünglichen Lösung vorgenommen werden konnte, d. h. es wurde stets mit sogenannten „Einstelllösungen" gearbeitet. Wenn nämlich der durch die genannten Einwirkungen entstehende, immerhin nicht große Beobachtungsfehler die Analysenresultate alle in derselben Richtung be-

einflußt, wird — wie eine einfache Rechnung zeigt — die Überführungszahl selbst sehr wenig oder garnicht geändert.

f. Ergebnisse.

Der Einfluß der Kolloide auf die Überführungszahl ist in zweifacher Beziehung untersucht worden. Es ist einerseits beobachtet worden, wie die Überführungszahl durch verschieden starken Zusatz ein und desselben Kolloids beeinflußt wird, und dann, wie sie sich bei Zusätzen verschiedener Kolloide verhält.

Die zunächst festgestellten Anionen-Überführungszahlen der reinen Elektrolyte waren:

für $^1/_{20}$ normal	LiCl	0,6879
„ $^1/_{20}$ „	KCl	0,5150
„ $^1/_{20}$ „	HCl	0,1721

Es wurde nun gefunden, daß die Überführungszahl des Anions durch den Zusatz von Nichtleitern verkleinert wird; und zwar ergibt sich (s. Tabelle Nr. 1 bis Nr. 10)

1) daß bei Anwendung ein und desselben Kolloids die verkleinernde Beeinflussung um so stärker ist, je größer die Menge des zugesetzten Kolloids ist,

2) daß die Verkleinerung der Überführungszahl wechselt je nach der Natur des Nichtleiters,

3) daß die vier untersuchten Nichtleiter Agar-Agar, Gelatineleim, Gummiarabikum und Pepton eine Reihe derart bilden, daß Agar-Agar die Überführungszahl am meisten, Pepton sie am wenigsten verkleinert.

Die Überführungszahl ist also nicht — wie Lenz u. a. annehmen — von dem Gehalt des zugesetzten Nichtleiters unabhängig, sondern die Überführungszahl des Anions fällt regelmäßig mit wachsendem Kolloidgehalt und zwar annähernd proportional mit ihm. Zu demselben Ergebnis sind die meisten Bearbeiter dieses Gebietes gelangt, so z. B. C. Franklin in seinen Untersuchungen über Ammoniaklösungen[1]), Roth bei der Bestimmung von Überführungszahlen in Alkoholgemischen[2]), desgl. B. Schapire[3]), A. Charpentier[4]), J. Levingstone[5]) und viele andere.

Die Abnahme der Überführungszahl bei Zusatz von Kolloiden ist zwar nur gering, und sie ist deshalb vielfach garnicht weiter beachtet worden; man hat sie entweder ganz vernachlässigt oder sie aus den bei den Messungen nie ganz zu vermeidenden Versuchsfehlern erklären wollen. Doch das mit Unrecht. Aus der Tatsache, daß die Überführungszahl mit wachsendem Kolloidgehalt stetig fällt, ergibt sich unzweifelhaft, daß es tatsächlich Kolloideinflüsse sind, um die es sich hier handelt.

Die beobachtete Wirkung des Kolloids dürfte meiner Meinung nach in Folgendem eine Erklärung finden. Durch das anwesende Kolloid wird der Wanderung der Ionen ein größerer Widerstand entgegengesetzt, und zwar

[1]) Beibl. 28 S. 971.
[2]) Beibl. 27 S. 855.
[3]) Beibl. 29 S. 505.
[4]) Beibl. 28 S. 123.
[5]) Beibl. 30 S. 876.

dem Anion in größerem Maße als dem Kation. Daraus ergibt sich, daß das Verhältnis

$$\frac{u}{u+v}$$

(die Überführungszahl) abnimmt.

Weitere und sicherere Schlüsse über das elektrische Verhalten der benutzten Kolloide lassen sich aus Untersuchungen über das elektrische Leitvermögen und über die innere Reibung ziehen; weshalb denn nun auch der zweite Abschnitt sich ausführlich mit der genauen Bestimmung dieser Größen befassen soll.

N. B. zu S. 32.

Die Überführungszahlen der Salzsäure-Gemische konnten mit Sicherheit nur bei Zusätzen von Pepton und Agar-Agar bestimmt werden. Bei Gegenwart von Gummiarabikum und Gelatineleim dagegen war dies nicht möglich, da die Analysen dieser Gemische nicht einwandsfrei durchgeführt werden konnten. Anscheinend gingen Elektrolyt und Nichtleiter hierbei Verbindungen derart ein, daß das Chlor teilweise von dem anwesenden Kolloid eingehüllt wurde, sodaß sein Gehalt nicht mit der erforderlichen Genauigkeit festzustellen war.

Außer den in den Tabellen Nr. 1 bis Nr. 10 aufgenommenen Werten sind noch eine Reihe von Überführungszahlen für Alkohol-Gemische bestimmt worden. Da diese jedoch nichts Neues ergaben, sondern vielmehr sich mit den Resultaten der S. 8 bis S. 10 angegebenen Arbeiten deckten, ist ihre Aufnahme in die Tabellen nicht für nötig erachtet worden.

II.

Das elektrische Leitvermögen und die innere Reibung.

Die Untersuchungen dieses Kapitels sind zunächst zu dem Ende unternommen worden, festzustellen, wie die elektrische Leitfähigkeit durch die Gegenwart gewisser Kolloide beeinflußt werde.

Des weiteren ist darin der Zusammenhang zwischen innerer Reibung und elektrischer Leitfähigkeit studiert worden.

a) Widerstandsbestimmungen.

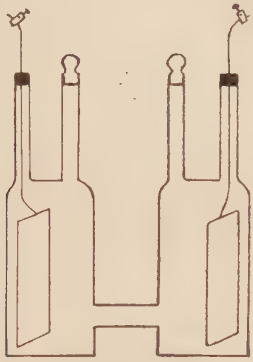
Die Widerstandsmessungen sind nach der Methode von Kohlrausch mit Wheatstoneſcher Brücke und Telephon ausgeführt worden. Die benutzte „Brücke" war eine vorzügliche Wheatstoneſche Walze. Sie ist vor dem Gebrauche genau kalibriert worden. Hierbei ergab sich, daß der aus der Ungleichförmigkeit des Drahtes entstehende Fehler sehr klein war, und zwar im mittleren Teile des Drahtes, wo die meisten Messungen vorgenommen wurden, so klein, daß eine Korrektur hier unterbleiben könnte. Die in der Nähe der Enden gemachten Widerstandsablesungen wurden korrigiert. Der Widerstandskasten, ein in der Werkstätte des Instituts gearbeitetes Instrument mit den (von Herrn Geheimrat Dorn abgeglichenen) Widerständen 0,1 1 10 100 1000 10000, war gleich mit dem Walzenapparat verbunden. Die Widerstände wurden wiederholt mit einander verglichen, und diese Vergleichung ergab eine fast vollkommene Übereinstimmung. Als Induktorium

diente ein sogenannter Saitenunterbrecher. Er verursachte nur ein sehr geringes, kaum störendes Geräusch, sodaß die Messungen sehr bequem ohne Benutzung eines Antiphons vorgenommen werden konnten. Bekanntlich ist bei telephonischen Messungen kleiner Widerstände die Bestimmung der genauen Lage des „Schallminimums" oft schwierig. Andrerseits bleibt im Falle starker Widerstände der Ton bisweilen durch eine ganze Anzahl von Skalenteilen hindurch aus. Bei den vorliegenden Untersuchungen sind die Brückenablesungen auf 0,1 eines Skalenteils gemacht und als Lage des Schallminimus das Mittel aus 2 abgelesenen Lagen des ausbleibenden Tons bzw. aus den 2 Lagen des gleichstark hörbaren Tons genommen worden. Die Widerstandsbestimmungen jeder Lösung wurden durchschnittlich viermal wiederholt und zwar in der Weise, daß zwei unabhängige Messungen vorgenommen und beide mit zwei verschiedenen Widerständen verglichen wurden. Das Mittel aus diesen Bestimmungen ist in die Tabellen aufgenommen und den Berechnungen zu Grunde gelegt worden. Um die Widerstände möglichst bei konstanter Temperatur messen zu können, wurde das Widerstandsgefäß in ein Petroleumbad gebracht. Das benutzte $^1/_{10}{}^0$ Thermometer ist mit Hilfe eines korrigierten Normalthermometers aus Jenaer Glas rektifiziert worden: es ließen sich an ihm 0,01°C genau schätzen; sein Nullpunktsfehler betrug +0,12°C.

b. Das Widerstandsgefäß.

Die Widerstandsmessungen der Lösungen sind in

kleinen Gefäßen nach F. Kohlrausch (s. Figur) vorgenommen worden.



Die Elektroden, etwa 3 qcm große Platinplättchen, waren an Platindrähte geschweißt. Da diese letzteren innerhalb des Gefäßes vollkommen frei liegen, also, wenn sich Lösung zwischen ihnen befindet, auch noch als Elektrode wirken, müssen sie, damit man eine konstante Widerstandskapazität erhält, immer gleich weit in die Lösung eintauchen.

c. Bestimmung der Widerstandskapazität.

Die Widerstandskapazität C des Gefäßes ist mittelst zweier Normallösungen, einer 0,1 und einer 0,02 normalen KCl-Lösung, bestimmt worden. Von jeder Konzentration wurden unabhängig zwei Lösungen durch Auflösen des genauen erforderlichen Gewichts an getrocknetem Salz in 1000 ccm Wasser von 18° C hergestellt. Da das zur Herstellung der Lösungen benutzte Wasser, wie schon erwähnt, eine Leitfähigkeit von $4{,}5 \cdot 10^{-6}$ besaß, ist es für nötig erachtet worden, dies bei der Berechnung

der Kapazität des Gefäßes in Rechnung zu ziehen. Und deshalb wurde der wirkliche Widerstand w_1 der verwendeten Normallösung aus der Formel:

$$w_{1+2} = \frac{w_1 \cdot w_2}{w_1 + w_2}$$ berechnet.

Hierin bedeutet:

w_{1+2} den Widerstand der aus destilliertem Wasser von der obigen Leitfähigkeit bereiteten Normallösung,

w_2 den Widerstand des benutzten Wassers,

w_1 den Widerstand einer mit Wasser von fast unendlichem Widestand bereiteten Normallösung.

Lösung	Gemessener Widerstand	Kapazität $C = \lambda w$	Berechneter Widerst. $w_1 = \frac{w_2 \cdot w_{1+2}}{w_2 - w_{1+2}}$	Kapazität $C = \lambda w$
0,1 n. K Cl	176,0	——	176,2	——
0,1 n. KCl	176,2	——	176,5	——
Mittel	176,1	2,208	176,4	2,212
0,02 n. KCl	501,5	——	501,8	——
0,02 n. KCl	501,3	——	501,8	——
Mittel	501,4	2,210	501,8	2,213

Die vorstehende Tabelle gibt eine übersichtliche Zusammenstellung der gemessenen und der berechneten Werte, und zwar so, daß die linke Seite die durch bloße Messung gefundenen Widerstände und die daraus sich ergebende Kapazität, die rechte Seite die berechneten Widerstände und die entsprechende Kapazität angibt.

Wie aus der Tabelle zu ersehen, weichen die Widerstände der unabhängig von einander bereiteten Normallösungen sehr wenig von einander ab. Ebenso ist der Unterschied zwischen den direkt gemessenen und den durch Rechnung gefundenen Werten nur gering. Als Widerstandskapazität ist das Mittel der berechneten Kapazitäten, also 2,213 genommen worden.

d. Ergebnisse.

Die sich ergebenden Resultate (s. Tabelle Nr. 11) sind analog den bei den Überführungszahlen gefundenen.

Die elektrische Leitfähigkeit nimmt auch ab bei Zusatz von Nichtleitern, und zwar lassen sich folgende Gesetzmäßigkeiten erkennen:

1) Die Abnahme wächst mit steigendem Kolloidgehalt.

2) Die Abnahme ist für die verschiedenen zugesetzten Kolloide eine verschieden starke.

3) Sie ist am stärksten für Agar-Agar und wird in der Reihenfolge Pepton, Gel. Leim, Gummiarabikum allmählich schwächer.

Die schon recht zahlreich angestellten Untersuchungen über die Leitfähigkeit von Elektrolyten bei Zusatz eines Nichtleiters haben in den weitaus meisten Fällen zu Resultaten geführt, die sich mit den meinen sehr wohl decken. So gelangt z. B. Arrhenius[1]) zu folgendem Ergebnis: „Wenn man eine Salzlösung auf ihre Leitfähigkeit hin untersucht und immer wachsende Mengen eines Nichtleiters unter der Bedingung zusetzt, daß das Volumen der Lösung durch Entziehen von Wasser konstant erhalten bleibt, so bemerkt man, daß die Leitfähigkeit allmählich abnimmt; anfangs ziemlich proportional der zugesetzten Menge, später recht unregelmäßig." Denselben Schluß ziehen aus ihren hierüber angestellten Arbeiten: Holland[2]), Rudorf[3]), V. Monti[4]), B. Schapire[5]), Cattaneo[6]) und andere mehr.

Die die Leitfähigkeit herabsetzende Wirkung des Kolloids erklärt sich, worauf auch Dumanski — Beibl. 32 S. 332 — hinweist, durch die Annahme, daß durch die nichtleitenden Kolloidteilchen eine Verringerung des Querschnittes des ganzen Leiters herbeigeführt wird. Diese Annahme entspricht vollkommen der bei den Überführungszahlen für den Kolloideinfluß gegebenen Er-

[1]) Ztschr. f. phys. Chem. 9 S. 487
[2]) Diss. Lpz. 1903.
[3]) Diss. Lpz. 1903.
[4]) Beibl. 18. S. 219.
[5]) Beibl. 29. S. 293.
[6]) Beibl. 18. S. 219 u. 365.

klärung. Aus ihr ergeben sich auch ohne weiteres die aus Tabelle 11 gefolgerten Gesetzmäßigkeiten.

Die über die Leitfähigkeit reiner Kolloide angestellten Versuche haben ergeben (s. Tabelle Nr. 11), daß alle kolloidalen Lösungen, selbst bei sorgfältigster Reinigung, den elektrischen Strom besser leiten als Wasser. Eine Begründung hierfür liegt ja wohl darin, daß die Gegenwart von Elektrolyten doch nie ganz ausgeschlossen werden kann. Es fragt sich nun aber, ob diese Leitfähigkeit ausschließlich auf Rechnung jener vorhandenen Elektrolyte gesetzt werden muß, oder ob sie zum Teil den kolloidalen Partikelchen selbst zuzuschreiben ist. Die zur Beantwortung dieser Frage angestellten kataphoretischen Untersuchungen (s. S. 45) haben zu dem Schluß geführt, daß kolloidale Teilchen eine — wenn auch nur ganz schwache — eigene elektrische Ladung besitzen.

Die aus Überführungszahl und Leitvermögen leicht zu berechnende Ionenbeweglichkeit ist der Fluidität (s. Tabelle Nr. 12) der Lösung nicht einfach proportional. Für ihre Größe erscheint als maßgebender Faktor nicht die Reibung der Ionen an ihren Nachbarn und am Lösungsmittel, sondern die der Flüssigkeitsteilchen überhaupt. Es muß angenommen werden, daß das wandernde Ion mit einer größeren Anzahl Moleküle der Flüssigkeit assoziiert ist und nunmehr eine Reibung erfährt, die praktisch zusammenfällt mit der Reibung des Solvens. Die Natur des Solvens äußert sich dann dadurch, daß sie die Anzahl dieser assoziierten Moleküle des Lö-

sungsmittels bestimmt. Die Ionenbeweglichkeit ist also eine Funktion, die sich mit der Natur der Ionen und der die Viskosität erzeugenden Moleküle ändert, und die vermutlich von der relativen Teilchengröße abhängt.

Es erübrigt nun noch, zu untersuchen, ob Beziehungen zwischen der Leitfähigkeit und der inneren Reibung, ähnlich wie sie von Arrhenius für reine wässrige Lösungen gefunden worden sind, auch für die untersuchten Lösungsgemische vorhanden sind.

e. b) Bestimmung der inneren Reibung.

Zur Verwendung gelangte die bekannte bewährte Methode von Poiseuille-Ostwald. Die Bestimmung der Ausflußzeiten geschah mit Hilfe eines Chronometers, der $^1/_5$ Sekunden anzeigte. Für jede Messung sind durchschnittlich 5 Zeitbestimmungen gemacht worden; der daraus folgende Mittelwert gab die für die entsprechende Temperatur (18°C) gesuchte Ausflußzeit. Behufs Reduktion der Zahlen für innere Reibung auf absolute Werte wurde der Apparat mit Wasser geeicht und für die innere Reibung des Wassers bei 18° der Wert

$$R_1 = 0{,}01055 \text{ gr cm}^{-1} \text{ sek}^{-1}$$

zu Grunde gelegt. Für alle untersuchten Flüssigkeiten wurden mit Hilfe eines Sprengelschen Pyknometers die spezifischen Gewichte bestimmt. Sämtliche Daten sind auf Wasser von 4° und den luftleeren Raum bezogen worden. Die Umrechnung der direkt beobachteten Daten auf die absoluten Werte geschah nach der Formel:

$$s = \frac{m}{w} (Q - \lambda) + \lambda$$

Hierin bedeutet:

λ die Dichtigkeit der Luft bezogen auf Waſſer. Es iſt für λ der Wert 0,00120 benutzt worden,

Q die Dichtigkeit des Waſſers, das zur Beobachtung gedient hat. Q war in unſerem Falle 0,99862,

m das ſcheinbare, d. h. das von der Wage angegebene Gewicht der in der Luft gewogenen Löſung,

w das ſcheinbare Gewicht des dem Volumen der Löſung gleichen Volumens Waſſer von der Dichtigkeit Q.

Aus den ſo beſtimmten Werten für Ausflußzeit und ſpezifiſches Gewicht wurde nun mit Hilfe der Formel

$$R = \frac{s\tau}{s_1 \tau_1} R_1$$

die Reibung berechnet; und zwar bedeutet hierin:

R den geſuchten Koeffizienten der inneren Reibung der zu unterſuchenden Löſung,

s das ſpezifiſche Gewicht dieſer Löſung,

τ die Ausflußzeit der Löſung in Sekunden.

R_1, s_1, τ_1 ſind die entſprechenden Werte für Waſſer.

Die für die innere Reibung gefundenen Reſultate ſind in Tabelle 12 zuſammengeſtellt.

Die Frage nach dem Zuſammenhang zwiſchen innerer Reibung und elektriſcher Leitfähigkeit iſt des öfteren aufgeworfen worden und hat für einfache wäſſrige Salzlöſungen eine Reihe von Bearbeitern gefunden. Für Kolloid-Gemiſche liegen dagegen auch hier recht

spärliche Angaben vor[1]). Da Untersuchungen hierüber für meine Arbeit ja nur von sekundärer Bedeutung waren, sind sie (aus Zeitmangel) leider nicht so ausführlich angestellt worden, daß sich besondere Schlüsse daraus ziehen ließen. Was sich mit Sicherheit aus der Tabelle ergibt, ist, daß die innere Reibung ebenso wie die Leitfähigkeit von der Natur und von der Konzentration des zugesetzten Nichtleiters abhängig ist. Inwieweit Ionenbeweglichkeit, Temperatur und Natur des Lösungsmittels hierbei beeinflussend wirken, müssen erst eingehendere Untersuchungen lehren. Zu weitgehende Analogien zwischen der Leitfähigkeit einer Lösung und ihrer Fluidität dürfen übrigens von vornherein nicht erwartet werden, da es sich bei der ersteren um die Bewegungshindernisse handelt, die die Ionen innerhalb der Flüssigkeit finden, bei der letzteren dagegen um die Bewegungshindernisse, die der gesamten Flüssigkeit entgegenstehen.

Außer den Untersuchungen der Tabelle sind noch einige Versuche über die Reibung der reinen Kolloide angestellt worden. Die auffälligste hierbei beobachtete Erscheinung war die zeitliche Unbeständigkeit der Reibungswerte der Kolloidlösungen. Beim längeren Stehen nahm die innere Reibung zu; die Zunahme war nicht proportional der Zeit. Temperatur und Konzentration spielen bei diesen Beobachtungen eine wesentliche Rolle. Bei höheren Temperaturen ist die Reibungszunahme geringer;

[1]) Holland, Diss. Lpz. 1903.

in konzentrierten Lösungen können die Erscheinungen deutlicher beobachtet werden. Ein anderes bemerkenswertes Verhalten der kolloidalen Lösungen zeigte sich darin, daß heftiges Schütteln ihre Viskosität verminderte. Die Wirkung der Temperatur war wie bei gewöhnlichen Flüssigkeiten: Die innere Reibung nahm mit steigender Temperatur ab. Aus den Beobachtungen schien sich zu ergeben, daß die Viskosität der Kolloidlösungen thermostabil ist, d. h. daß man für eine bestimmte Temperatur immer dieselben Werte erhält.

Die Betrachtung der Kurven bzw. Tabelle zeigt, daß die innere Reibung der Kolloidlösungen bei gewissen Konzentrationen ganz auffallend rasch zunimmt. Bei niedrigen Konzentrationen verläuft die Zunahme ziemlich normal.

III.
Einige kataphoretische und ultramikroskopische Untersuchungen.

Die vorliegende Arbeit fand ihren Abschluß in einigen Beobachtungen über Wanderungssinn und Wanderungsgeschwindigkeit der verwendeten Kolloide. Zur Bestimmung dieser Größen wurden zwei Methoden, die kataphoretische und die ultramikroskopische, benutzt.

a) Kataphoretische Beobachtungen.

Bei dieser makroskopischen Methode war zunächst auffallend, daß die wandernden Teilchen eine scharfe Trennungsfläche gegen die von ihnen freie Flüssigkeit zeigten. Dann wurden die verschiedensten Störungen, so

z. B. die Umkehr der Wanderungsrichtung am positiven Pol, sehr starke Ausfällungen in der Nähe der Elektroden, Kolloid-Anhäufungen in der Mitte der Flüssigkeitssäule und dergleichen, beobachtet. Die Erscheinungen sind jedoch zu kompliziert, als daß sie hier näher besprochen werden könnten.

Die Ergebnisse lassen sich kurz dahin zusammenfassen, daß die kolloiden Teilchen verschieden beeinflußt werden. Bei manchen Solen werden sie zur Anode, bei andern zur Kathode getrieben; sie verhalten sich also wie negativ oder positiv geladen. Aus den Beobachtungen hat sich ergeben, daß Pepton, Gummiarabikum und Agar-Agar zu den negativen Kolloiden gehören, Gelatineleim dagegen positiv geladen ist.

b) Ultramikroskopie.

Die Beobachtungen sind in der Absicht vorgenommen worden, dadurch den auf kataphoretischem Wege gefundenen Wanderungssinn der Kolloide auch auf diesem Wege noch — rein, sowie mit Elektrolyt gemischt — festzustellen. Es war dies leider nicht mit der gewünschten Sicherheit möglich. Bei Agar-Agar und Pepton konnte man eine ziemlich ausgesprochene Richtung, und zwar von der Kathode zur Anode, feststellen; dagegen gelang dies bei Gelatineleim und Gummiarabikum nur in sehr unbefriedigendem Maße.

Interessant waren jedoch eine Reihe von hierbei beobachteten Erscheinungen, besonders bei den Versuchen mit Agar-Agar. Das reine Agar-Agar wies, unter das

Ultramikroskop gebracht, zwar nur wenige, aber recht deutliche große Teilchen auf. Die Eigenbewegung dieser Teilchen, die sich übrigens durch eine merklich gleiche Größe auszeichneten, war eine sehr lebhafte. Neben der sogenannten Brown'schen Bewegung, die in ihren beiden Komponenten, der zitternden und der kreisenden, deutlich zu erkennen war, beobachtete man noch eine ganz eigenartige progressive Bewegung einiger Teilchen. Und gerade diese letztere war es, die das Interesse ganz besonders in Anspruch nahm. Es war eine relativ langsame Bewegung, bei der die Teilchen recht lange, teils geradlinige, teils kreisförmige Bahnen zurücklegten. Und mit das Merkwürdigste an dieser Bewegung waren die eigenartigen Umkehrerscheinungen. Die Teilchen kehrten auffallend plötzlich, teils durch Karambolage mit anderen leuchtenden Teilchen dazu veranlaßt, teils aber auch ohne jeden sichtbaren Grund, ihre Bewegungsrichtung um. Die so sich bewegenden Teilchen möchte ich für Bakterien erklären. Der Charakter ihrer Bewegung weicht von der Brown'schen Bewegung ab. Außerdem scheint ein Versuch über Erwärmung, und besonders das Aufhören der Bewegung nach chemischen Einwirkungen dafür zu sprechen, daß es sich hier um Bakterien handelt. Wurde nämlich eine Agar-Agar-Lösung 2mal je ½ Stunde in Dämpfe siedenden Wassers gebracht, so waren darnach etwa ebensoviel Teilchen gleichen Aussehens da, aber sie zeigten jetzt nur die unregelmäßige Brown'sche Bewegung.

Diese Bewegungen können dank ihrer Langsamkeit

sehr genau beobachtet werden und würden sich infolgedessen ausgezeichnet zur Messung von Wanderungsgeschwindigkeiten, Schwingungsamplituden, Temperatureinflüssen und dergleichen eignen.

Wird der Strom durch die Flüssigkeit geschickt, so werden die Teilchen geordnet; ihr bis dahin ganz ungeregelter Wanderungssinn wird einheitlich gerichtet, und zwar so, daß der weitaus größere Teil von der Kathode zur Anode, ein anderer immerhin noch ganz beträchtlicher Teil jedoch umgekehrt wandert. Außerdem wird die Geschwindigkeit eine bedeutend größere.

Wird die Agar-Agar-Lösung verdünnt, so bleibt die Erscheinung, abgesehen davon, daß die Teilchenzahl sich ein klein wenig verringert, im wesentlichen die gleiche.

In einem Gemisch von Agar-Agar und K Cl nimmt die Teilchenzahl beträchtlich zu; die Teilchen sind von sehr verschiedener Größe. Auch hier findet eine lebhafte Eigenbewegung statt, die jedoch im Gegensatz zu der vorher beobachteten mehr zirkularen Bewegung hier ausgesprochen zickzackförmig ist, und die wegen der großen Teilchenzahl nicht mehr so genau wie die des reinen Agars beobachtet werden kann. Wird der Strom hindurchgeschickt, so tritt eine der obigen sehr ähnliche Erscheinung auf. Auch hier beobachtet man jene merkwürdigen Umkehrerscheinung. Schaltet man den Strom um, so nimmt die Bewegung an Lebhaftigkeit sehr ab und wird, während sie vorher seitlich gerichtet war, jetzt mehr

diagonal. Allmählich wird die Bewegung immer kleiner. Bei abermaligem Umkehren, also beim Zurückschalten des Stromes, tritt jene erste lebhafte Bewegung nicht wieder ein.

Pepton wandert, wie schon oben angedeutet wurde, mit und ohne Elektrolyt von der Kathode zur Anode. Besonders auffallende Erscheinungen sind nicht beobachtet worden.

Die Beobachtungen an Gelatineleim und Gummiarabikum boten wenig Interessantes, und überdies waren die Erscheinungen so unregelmäßig, daß sich Schlüsse aus dem vorliegenden Beobachtungsmaterial noch nicht ziehen lassen.

Wenn sich auch aus den hier vorliegenden Untersuchungen die erhofften Bestätigungen leider noch nicht mit der gewünschten Sicherheit entnehmen lassen, so hat sich doch andrerseits nichts ergeben, was den durch die Kataphorese gefundenen Resultaten widerspräche. — Es wäre natürlich von größter Wichtigkeit, zu versuchen, diese immerhin doch recht interessanten Erscheinungen durch eingehende Studien sicherer und allgemeiner zu deuten.

Zusammenstellung

der gefundenen Resultate.

Die benutzten Kolloide üben auf die Überführungszahl des Anions sowohl als auf die elektrische Leitfähigkeit der untersuchten Elektrolyte einen verkleinernden Einfluß aus; und zwar ergibt sich:

1) daß diese verkleinernde Wirkung mit steigendem Kolloidgehalt wächst,

2) daß sie je nach der Natur des Nichtleiters sich ändert.

Auf die innere Reibung wirken die Kolloide vergrößernd.

Für Pepton, Gummiarabikum und Agar-Agar hat sich ein negativer Wanderungssinn ergeben, für Gelatineleim ein positiver.

Die erste Anregung zu vorliegender Dissertation ist von Herrn Geh. Medizinalrat Professor Dr. Bernstein ausgegangen; hierdurch veranlaßt, hat

Herr Geheimrat Professor Dr. E. Dorn

mir das Thema zur Bearbeitung überwiesen. Die der Arbeit zu Grunde liegenden experimentellen Untersuchungen sind im Wintersemester 1910/11 im physikalischen Institut der Universität Halle a. S. ausgeführt worden.

Es sei mir an dieser Stelle gestattet, dem Direktor desselben, Herrn Geheimrat Dorn, für die Überweisung des Themas, wie auch für die Gewährung des Arbeitsplatzes und für die mir freundlichst zur Verfügung gestellten Hilfsmittel meinen aufrichtigsten Dank auszusprechen.

Am Schlusse meiner Arbeit spreche ich noch Herrn Professor Dr. Tubandt sowie Herrn Dr. Wigand herzlichen Dank aus für die mancherlei Anregungen und Ratschläge, mit denen sie mich in liebenswürdiger Weise unterstützt haben

Lebenslauf.

Ich Paul Gustav Gottfried Richter wurde am 20 Juni 1886 in Gollantsch Bezirk Bromberg als Sohn des Pfarrers Georg Richter und seiner Ehefrau Martha geb. Grundmann geboren. Nachdem ich vom sechsten bis zehnten Lebensjahr die paritätische Volksschule meiner Heimatstadt besucht hatte, wurde ich von einer Erzieherin und später von meinem Vater unterrichtet und trat Oktober 1902 in die Oberrealschule zu Graudenz ein, die ich im Herbst 1906 mit dem Zeugnis der Reife verließ. Darauf studierte ich 1 Semester in Grenoble, 4 Semester in Berlin und beendete mein Studium in Halle.

Gehört habe ich bei folgenden Herren Professoren und Dozenten:

in Grenoble: Crozals, Morillot, Besson, Chabert, Colardeau, Rosset,

in Berlin: Lehmann-Filhés, Schur, Spies, Knoblauch, Rubens, Ebeling, Lasson, Schofield, Haguenin, Harsley, Rambeau, Brandl, Weinstein,

in Halle: Dorn, Wangerin, Gutzmer, Tubandt, Uphues, Menzer, Fries, Havell, Eberhard, Kattenbusch, Wackernagel, Mulert.

No. 1

Li Cl + Pepton.

Nr. der Lösung	Nr. der Versuche	Gehalt in Gewichtsprozenten	Gewicht von 10 ccm Lösung: der Elektr.	Gewicht von 10 ccm Lösung: der Elektr.	Analyse der ursprüngl. Lösung gr. Cl: Einzel-	Analyse der ursprüngl. Lösung gr. Cl: Mittel	Analyse der neutralen Schicht	Analyse der Borax- oder abgeschiedene Silber-Lösung	Analyse der Anoden-Lösung gr. Cl: Einzel-	Analyse der Anoden-Lösung gr. Cl: Mittel	Gewicht der Anoden-Lösung	Mittlere Überführungszahl des Chlors: Einzel-	Mittlere Überführungszahl des Chlors: Mittel
I.	1.	0,638	9,9443	9,9443	0,01768 0,01768	0,01768	0,01768	0,1544	0,01936 0,01936	0,01936	197,030	0,6711	
	2.		9,9411	9,9411	0,01768 0,01768	0,01768	0,01768	0,1544	0,01936 0,01936	0,01936	196,968	0,6737	0,6735
	3.		9,9371	9,9368	0,01773 0,01778	0,01775	0,01780	0,1544	0,01943 0,01946	0,01944	196,989	0,6739	
II.	1.	0,6536	9,9278	9,9412	0,01768 0,01768	0,01768	0,01768	0,1544	0,01927 0,01927	0,01932	196,951	0,6674	
	2.		9,9288	9,9506	0,01768 0,01768	0,01768	0,01768	0,1544	0,01928 0,01928	0,01928	196,639	0,6679	0,6676
	3.		9,9281	9,9482	0,01773 0,01773	0,01773	0,01780	0,1544	0,01931 0,01931	0,01931	196,603	0,6675	
III.	1.	0,4536	9,9412	9,9573	0,01768 0,01768	0,01768	0,01768	0,1544	0,01934 0,01934	0,01934	205,809	0,6606	
	2.		9,9432	9,9555	0,01768 0,01768	0,01768	0,01768	0,1544	0,01936 0,01934	0,01935	205,742	0,6605	0,6606
	3.		9,9394	9,9592	0,01768 0,01768	0,01768	0,01768	0,1544	0,01932 0,01932	0,01932	205,903	0,6608	
IV.	1.	0,2048	9,9313	9,9460	0,01773 0,01773	0,01773	0,01779	0,1544	0,01911 0,01911	0,01911	206,809	0,6551	
	2.		9,9212	9,9369	0,01768 0,01768	0,01768	0,01768	0,1544	0,01936 0,01936	0,01936	206,679	0,6557	0,6554
	3.		9,9233	9,9438	0,01778 0,01778	0,01778	0,01779	0,1519	0,01938 0,01939	0,01939	206,902	0,6551	
V.	1.	0,6080	9,9452	9,9603	0,01788 0,01788	0,01788	0,01786	0,1556	0,02006 0,02008	0,02007	161,661	0,6528	
	2.		9,9277	9,9623	0,01797 0,01797	0,01797	0,01796	0,1555	0,02001 0,02001	0,02001	161,687	0,6526	0,6528
	3.		9,9298	9,9578	0,01789 0,01788	0,01789	0,01788	0,1556	0,02001 0,02003	0,02002	161,588	0,6530	
VI.	1	1,2166	9,9161	9,9412	0,01809 0,01811	0,01810	0,01809	0,1545	0,02011 0,02011	0,02011	161,640	0,6494	
	2.		9,9164	9,9506	0,01797 0,01797	0,01797	0,01798	0,1556	0,02009 0,02011	0,02010	161,651	0,6490	0,6493
	3.		9,9258	9,9443	0,01808 0,01807	0,01808	0,01808	0,1544	0,02018 0,02020	0,02019	161,582	0,6495	

No. 2

Li Cl + Gummiarabicum.

Nr. der Lösung	Nr. des Versuchs	Kolloidgehalt in Gewichts-Prozenten	Gewicht von 10 ccm Lösung vor der Elektr.	Gewicht von 10 ccm Lösung nach der Elektr.	Analyse der urspr. Lösung gr. Cl Einzelanalyse	Analyse der urspr. Lösung gr. Cl Mittel	Analyse der neutralen Schicht	Im Voltameter abgeschiedene Silbermenge	Analyse der Anodenflüss. gr. Cl Einzelanalyse	Analyse der Anodenflüss. gr. Cl Mittel	Gewicht der Anodenflüssigkeit	Überführungszahl des Chlors Einzelwert	Überführungszahl des Chlors Mittel
I.	1.	0,4617	9,9411	9,9712	0,01787 0,01790	0,01789	0,01789	0,1540	0,01971 0,01969	0,01964	197,036	0,6820	
	2.		9,9424	9,9698	0,01782 0,01778	0,01780	0,01781	0,1578	0,01963 0,01965	0,01964	196,724	0,6826	0,6822
	3.		9,9428	9,9686	0,01785 0,01784	0,01785	0,01784	0,1541	0,01964 0,01963	0,01964	196,831	0,6819	
II.	1.	0,9230	9,9399	9,9751	0,01777 0,01780	0,01779	0,01778	0,1623	0,01967 0,01969	0,01968	197,531	0,6799	
	2.		9,9399	9,9724	0,01784 0,01788	0,01786	0,01786	0,1591	0,01971 0,01972	0,01972	197,025	0,6795	0,6794
	3.		9,9410	9,9731	0,01775 0,01778	0,01777	0,01775	0,1604	0,01963 0,01965	0 01964	197,126	0,6789	
III.	1.	1,8468	9,9417	9,9684	0,01789 0,01787	0,01788	0,01789	0,1540	0,01955 0,01953	0,01954	207,263	0,6649	
	2.		9,9410	9,9731	0,01780 0,01784	0,01782	0,01782	0,1578	0,01956 0,01960	0,01958	206,934	0,6645	0,6646
	3.		9,9409	9,9724	0,01784 0,01785	0,01785	0,01783	0,1544	0,01952 0,01956	0,01954	207,412	0,6644	
IV	1.	3,6930	9,9413	9,9692	0,01777 0,01779	0,01778	0,01779	0,1623	0,01950 0,01954	0 01952	207,165	0,6564	
	2.		9,9424	9,9671	0,01780 0,01780	0,01780	0,01781	0,1591	0,01951 0,01949	0,01950	207,374	0,6568	0,6567
	3.		9,9426	9,9698	0,01781 0,01782	0,01782	0,01781	0,1604	0,01952 0,01956	6,01954	207,128	0,6570	
V.	1.	7,3802	9,9406	9,9734	0,01757 0,01753	0,01755	0,01755	0,1540	0,01961 0,01965	0,00963	159,264	0,6424	
	2.		9,9399	9,9793	0,01745 0,01746	0,01746	0,01745	0,1578	0,01971 0,01969	0,01970	160,015	0,6428	0,6424
	3.		9,9412	9,9745	0,01762 0,01760	0,01761	0,01761	0,1544	0,01970 0,01969	0,01970	159,162	0,6421	
VI.	1.	14,7722	9,9424	3,9631	0,01784 0,01785	0,01785	0,01781	0,1623	0,01995 0,01994	0,01995	161,812	0,6264	
	2.		9,9434	9,9712	0,01780 0,01784	0,01782	0,01782	0,1591	0,01986 0,01990	0,01988	161,846	0,6262	0,6263
	3.		9,9433	9,9675	0,01773 0,01775	0,01774	0,01775	0,1604	0,01981 0,01983	0,01982	161,803	0,6263	

No. 3

Li Cl + Gelatineleim.

Nr. der Lösung	Nr. des Versuchs	Kolloidgehalt in Gewichts-Prozenten	Gewicht von 10 ccm Lösung vor der Elektr.	Gewicht von 10 ccm Lösung nach der Elektr.	Analyse der urspr. Lösung gr. Cl Einzelanalyse	Analyse der urspr. Lösung gr. Cl Mittel	Analyse der neutralen Schicht	Im Voltameter abgeschiedene Silbermenge	Analyse der Anodenflüss. gr. Cl Einzelanalyse	Analyse der Anodenflüss. gr. Cl Mittel	Gewicht der Anodenflüssigkeit	Überführungszahl des Chlors Einzelwert	Überführungszahl des Chlors Mittel
I.	1.	0,4076	9,9322	9,9616	0,01601 0,01604	0,01603	0,01602	0,1572	0,01824 0,01828	0,01826	161,234	0,6828	0,6828
	2.		9,9313	9,9637	0,01605 0,01609	0,01607	0,01606	0,1562	0,01829 0,01828	0,01829	161,390	0,6824	
	3.		9,9300	9,9648	0,01585 0,01587	0,01586	0,01586	0,1569	0,01824 0,01821	0,01824	161,168	0,7318	
II.	1.	0,8158	9,9296	9,9640	0,01535 0,01539	0,01537	0,01538	0,1523	0,01746 0,01752	0,01749	161,112	0,6704	0,6705
	2.		9,9306	9,9639	0,01531 0,01534	0,01533	0,01533	0,1558	0,01750 0,01752	0,01751	160,923	0,6706	
	3.		9,9312	9,9642	0,01508 0,01511	0,01510	0,01509	0,1541	0,01741 0,01743	0,01742	161,167	0,7298	
III.	1.	1,6303	9,9403	9,9646	0,01608 0,01611	0,01610	0,01610	0,1572	0,01780 0,01779	0,01780	205,213	0,6575	0,6574
	2.		9,9324	9,9656	0,01618 0,01615	0,01617	0,01618	0,1562	0,01786 0,01788	0,01787	205,146	0,6569	
	3.		9,9414	9,9673	0,01611 0,01618	0,01616	0,01616	0,1569	0,01785 0,01781	0,01785	205,202	0,6578	
IV.	1.	3,2608	9,9334	9,9660	0,01665 0,01667	0,01666	0,01665	0,1523	0,01827 0,01826	0,01827	205,187	0,6368	0,6375
	2.		9,9320	9,9675	0,01591 0,01589	0,01590	0,01591	0,1558	0,01753 0,01755	0,01754	205,213	0,6379	
	3.		9,9392	9,9684	0,01600 0,01602	0,01601	0,01600	0,1541	0,01760 0,01763	0,01762	205,144	0,6378	
V.	1.	6,5220	9,9358	9,9687	0,01640 0,01644	0,01642	0,01641	0,1572	0,01807 0,01808	0,01808	197,163	0,6296	0,6294
	2.		9,9345	9,9675	0,01612 0,01612	0,01612	0,01613	0,1562	0,01779 0,01781	0,01780	197,372	0,6290	
	3.		9,9354	9,9690	0,01635 0,01634	0,01635	0,01636	0,1569	0,01802 0,01806	0,01804	197,621	0,6296	
VI.	1.	13,0420	9,9395	9,9698	0,01601 0,01605	0,01603	0,01602	0,1523	0,01758 0,01762	0,01760	197,613	0,6015	0,6015
	2.		9,9404	9,9704	0,01586 0,01582	0,01584	0,01584	0,1558	0,01744 0,01746	0,01745	197,414	0,6012	
	3.		9,9419	9,9715	0,01613 0,01617	0,01615	0,01616	0,1541	0,01773 0,01774	0,01774	197,638	0,6018	

No. 4

Li Cl + Agar-Agar.

Nr. der Lösung	Nr. des Versuchs	Kolloidgehalt in Gewichts-Prozenten	Gewicht von 10 ccm Lösung vor der Elektr.	Gewicht von 10 ccm Lösung nach der Elektr.	Analyse der urspr. Lösung gr. Cl Einzelanalyse	Analyse der urspr. Lösung gr. Cl Mittel	Analyse der neutralen Schicht	Im Voltameter abgeschiedene Silbermenge	Analyse der Anodenflüss. gr. Cl Einzelanalyse	Analyse der Anodenflüss. gr. Cl Mittel	Gewicht der Anodenflüssigkeit	Überführungszahl des Chlors Einzelwert	Überführungszahl des Chlors Mittel
I.	1.	0,0180	9,9308	9,9679	0,01631 0,01635	0,01633	0,01633	0,1584	0,01859 0,01862	0,01861	160,831	0,6835	
	2.		9,9324	9,9672	0,01673 0,01676	0,01675	0,01676	0,1570	0,01898 0,01902	0,01900	161,218	0,6832	0,6834
	3.		9,9337	9,9683	0,01693 0,01695	0,01694	0,01694	0,1578	0,01920 0,01920	0,01920	161,734	0,6836	
II.	1.	0,0375	9,9329	9,9692	0,01716 0,01715	0,01716	0,01716	0,1554	0,01934 0,01935	0,01935	160,911	0,6736	
	2.		9,9334	9,9675	0,01706 0,01704	0,01705	0,01705	0,1564	0,01922 0,01925	0,01924	161,202	0,6738	0,6738
	3.		9,9345	9,9694	0,01704 0,01704	0,01704	0,01704	0,1560	0,01924 0,01922	0,01923	161,146	0,6739	
III.	1.	0,0736	9,9376	9,9712	0,01703 0,01707	0,01705	0,01705	0,1584	0,01876 0,01880	0,01878	205,782	0,6647	
	2.		9,9374	9,9703	0,01714 0,01716	0,01715	0,01715	0,1570	0,01889 0,01885	0,01887	206,341	0,6639	0,6643
	3.		9,9354	9,9708	0,01700 0,01704	0,01702	0,01702	0,1578	0,01875 0,01873	0,01874	205,974	0,6643	
IV.	1.	0,1460	9,9391	9,9699	0,01750 0,01748	0,01749	0,01752	0,1554	0,01916 0,01912	0,01914	206,401	0,6482	
	2.		9,9392	9,9687	0,01733 0,01731	0,01732	0,01732	0,1564	0,01901 0,01899	0,01900	206,239	0,6487	0,6485
	3.		9,9400	9,9678	0,01730 0,01734	0,01732	0,01733	0,1560	0,01894 0,01898	0,01896	206,316	0,6486	
V.	1.	0,2928	9,9368	9,9698	0,01716 0,01720	0,01718	0,01718	0,1584	0,01885 0,01889	0,01887	197,214	0,6199	
	2.		9,9371	9,9704	0,01779 0,01781	0,01780	0,01781	0,1570	0,01946 0,01950	0,01948	197,239	0,6198	0,6198
	3.		9,9347	9,9692	0,01726 0,01729	0,01728	0,01726	0,1578	0,01897 0,01895	0,01896	196,216	0,6197	
VI.	1.	0,5840	9,9414	9,9692	0,01760 0,01757	0,01759	0,01758	0,1554	0,01914 0,01918	0,01916	197,135	0,5821	
	2.		9,9423	9,9694	0,01767 0,01768	0,01768	0,01768	0,1564	0,01922 0,01926	0,01924	197,224	0,5824	0,5825
	3.		9,9413	9,9689	0,01772 0,01773	0,01773	0,01772	0,1560	0,01931 0,01928	0,01930	196,930	0,5830	

No. 5

K Cl + Pepton.

Nr. der Lösung	Nr. des Versuchs	Kolloidgehalt in Gewichts-Prozenten	Gewicht von 10 ccm · Lösung vor der Elektr.	Gewicht von 10 ccm · Lösung nach der Elektr.	Analyse der urspr. Lösung. gr. Cl Einzelanalyse	Analyse der urspr. Lösung. gr. Cl Mittel	Analyse der neutralen Schicht	Im Voltameter abgeschiedene Silbermenge	Analyse der Anodenflüss. gr. Cl Einzelanalyse	Analyse der Anodenflüss. gr. Cl Mittel	Gewicht der Anodenflüssigkeit	Überführungszahl des Chlors Einzelwert	Überführungszahl des Chlors Mittel
I.	1.	0,0376	9,9523	9,9679	0,01696 0,01695	0,01696	0,01695	0,1631	0,01860 0,01864	0,01862	161,148	0,4944	0,4948
	2.		9,9512	9,9684	0,01700 0,01703	0,01702	0,01702	0,1619	0,01867 0,01866	0,01867	160,998	0,4949	
	3.		9,9501	9,9675	0,01718 0,01714	0,01716	0,01717	0,1625	0,01881 0,01883	0,01882	161,163	0,4951	
II.	1.	0,0776	9,9524	9,9703	0,01716 0,01717	0,01717	0,01718	0,1598	0,01879 0,01876	0,01878	161,298	0,4867	0,4863
	2.		9,9531	9,9705	0,01721 0,01718	0,01720	0,01719	0,1612	0,01822 0,01821	0,01882	161,174	0,4860	
	3.		9,9529	9,9700	0,01711 0,01707	0,01709	0,01709	0,1603	0,01874 0,01870	0,01872	160,836	0,4861	
III.	1.	0,1532	9,9587	9,9691	0,01784 0,01786	0,01785	0,01785	0,1631	0,01912 0,01909	0,01911	205,971	0,4802	0,4804
	2.		9,9577	9,9688	0,01789 0,01790	0,01790	0,01789	0,1619	0,01916 0,01916	0,01916	205,883	0,4810	
	3.		9,9571	9,9673	0,01782 0,01778	0,31780	0,01781	0,1625	0,01904 0,01906	0,01905	205,962	0,4800	
IV.	1.	0,3045	9,9576	9,9676	0,01757 0,01757	0,01757	0,01756	0,1598	0,01878 0,01880	0,01879	206,262	0,4752	0,4756
	2.		9,9586	9,9685	0,01758 0,01760	0,01759	0,01757	0,1612	0,01881 0,01883	0,01882	206,175	0,4756	
	3.		9,9613	9,9677	0,01770 0,01769	0,01770	0,01771	0,1603	0,01894 0,01890	0,01892	206,162	0,4759	
V.	1.	0,6089	9,9589	9,9690	0,01767 0,01769	0,01768	0,01767	0,1631	0,01899 0,01897	0,01898	196,766	0,4716	0,4715
	2.		9,9601	9,9687	0,01764 0,01768	0,01766	0,01769	0,1619	0,01892 0,01895	0,01894	196,867	0,4714	
	3.		9,9569	9,9679	0,01766 0,01763	0,01762	0,01762	0,1625	0,01890 0,01893	0,01892	197,232	0,4716	
VI.	1.	1,2164	9,9548	9,9704	0,01749 0,01751	0,01750	0,01750	0,1598	0,01877 0,01878	0,01878	197,342	0,4684	0,4681
	2.		9,9537	9,9698	0,01763 0,01772	0,01763	0,01762	0,1612	0,01893 0,01889	0,01891	196,934	0,4678	
	3.		9,9523	9,9702	0,01751 0,01756	0,01754	0,01755	0,1603	0,01881 0,01883	0,01882	197,218	0,4682	

No. 6

K Cl + Gummiarabicum.

Nr. der Lösung	Nr. des Versuchs	Kolloidgehalt in Gewichtsprozenten	Gewicht von 10 ccm Lösung vor der Elektr.	Gewicht von 10 ccm Lösung nach der Elektr.	Analyse der urspr. Lösung gr. Cl Einzelanalyse	Analyse der urspr. Lösung gr. Cl Mittel	Analyse der neutralen Schicht	Im Voltameter abgeschiedene Silbermenge	Analyse der Anodenflüss. gr. Cl Einzelanalyse	Analyse der Anodenflüss. gr. Cl Mittel	Gewicht der Anodenflüssigkeit	Überführungszahl des Chlors Einzelwert	Überführungszahl des Chlors Mittel
I.	1.	0,4627	9,9586	9,9762	0,01709 0,01711	0,01709	0,01710	0,1599	0,01880 0,01877	0,01879	160,817	0,5117	0,5116
	2.		9,9589	9,9773	0,01705 0,01704	0,01705	0,01705	0,1590	0,01874 0,01874	0,01874	160,612	0,5114	
	3.		9,9603	9,9785	0,01706 0,01710	0,01708	0,01707	0,1592	0,01876 0,01880	0,01878	160,897	0,5116	
II.	1.	0,9246	9,9556	9,9782	0,01701 0,01703	0,01702	0,01702	0,1577	0,01865 0,01866	0,01867	160,716	0,5023	0,5023
	2.		9,9562	9,9780	0,01701 0,01705	0,01703	0,01705	0,1587	0,01872 0,01868	0,01870	160,924	0,5024	
	3.		9,9573	9,9770	0,01702 0,01698	0,01700	0,01700	0,1582	0,01865 0,01864	0,01865	160,814	0,5022	
III.	1.	1,8453	9,9572	9,9812	0,01740 0,01736	0,01739	0,01739	0,1599	0,01880 0,01876	0,01878	206,034	0,4967	0,4965
	2.		9,9577	9,9804	0,01755 0,01754	0,01755	0,01753	0,1590	0,01884 0,01883	0,01884	206,264	0,4965	
	3.		9,9574	9,9809	0,01756 0,01760	0,01758	0,01758	0,1592	0,01885 0,01888	0,01887	206,175	0,4963	
IV.	1.	3,6978	9,9566	9,9802	0,01743 0,01744	0,01744	0,01744	0,1577	0,01871 0,01869	0,01870	206,112	0,4852	0,4854
	2.		9,9567	9,9794	0,01757 0,01755	0,01757	0,01756	0,1587	0,01882 0,01886	0,01884	206,214	0,4856	
	3.		9,9557	9,9798	0,01752 0,01748	0,01750	0,01751	0,1582	0,01877 0,01875	0,01876	206,208	0,4854	
V.	1.	7,3852	9,9583	9,9795	0,01749 0,01750	0,01750	0,01748	0,1599	0,01883 0,01879	0,01881	196,815	0,4780	0,4783
	2.		9,9583	9,9802	0,01744 0,01740	0,01742	0,01742	0,1590	0,01870 0,01873	0,01872	196,726	0,4782	
	3.		9,9579	9,9806	0,01747 0,01743	0,01745	0,01745	0,1592	0,01877 0,01875	0,01876	196,914	0,4786	
VI.	1.	14,7735	9,9561	9,9812	0,01754 0,01753	0,01754	0,01753	0,1577	0,01871 0,01870	0,01872	196,815	0,4351	0,4348
	2.		9,9565	9,9810	0,01755 0,01757	0,01756	0,01756	0,1587	0,01878 0,01874	0,01876	196,906	0,4347	
	3.		9,9559	9,9811	0,01750 0,01753	0,01752	0,01750	0,1582	0,01872 0,01868	0,01870	196,726	0,4346	

No. 7

K Cl + Gelatineleim.

Nr. der Lösung	Nr. des Versuchs	Kolloidgehalt in Gewichts-Prozenten	Gewicht von 10 ccm Lösung vor der Elektr.	Gewicht von 10 ccm Lösung nach der Elektr.	Analyse der urspr. Lösung gr. Cl Einzelanalyse	Analyse der urspr. Lösung gr. Cl Mittel	Analyse der neutralen Schicht	Im Voltameter abgeschiedene Silbermenge	Analyse der Anodenflüss. gr. Cl Einzelanalyse	Analyse der Anodenflüss. gr. Cl Mittel	Gew ch: der Anodenflüssigkeit	Überführungszahl des Chlors Einzelwert	Überführungszahl des Chlors Mittel
I.	1.	0,1050	9,9567	9,9807	0,01662 0,01664	0,01663	0,01663	0,1622	0,01836 0,01839	0,01838	160,912	0,5133	0,5137
	2.		9,9562	9,9803	0,01661 0,01665	0,01663	0,01664	0,1617	0,01837 0,01835	0,01836	161,230	0,5142	
	3.		9,9559	9,9809	0,01661 0,01657	0,01659	0,01659	0,1651	0,01833 0,01831	0,01832	161,179	0,5136	
II.	1.	0,8158	9,9556	9,9812	0,01656 0,01660	0,01658	0,01658	0,1607	0,01831 0,01827	0,01829	161,216	0,5092	0,5090
	2.		9,9558	9,9817	0,01659 0,01659	0,01659	0,01659	0,1612	0,01832 0,01829	0,01831	161,224	0,5091	
	3.		9,9560	9,9819	0,01654 0,01653	0,01654	0,01655	0,1608	0,01826 0,01825	0,01826	161,198	0,5086	
III.	1.	1,6312	9,9533	9,9814	0,01692 0,01688	0,01690	0,01691	0,1622	0,01824 0,01824	0,01824	206,203	0,5009	0,5010
	2.		9,9536	9,9822	0,01694 0,01691	0,01693	0,01695	0,1617	0,01826 0,01828	0,01827	206,126	0,5012	
	3.		9,9546	9,9825	0,01696 0,01696	0,01696	0,01696	0,1621	0,01831 0,01831	0,01831	206,155	0,5008	
IV.	1.	3,2600	9,9572	9,9826	0,01693 0,01690	0,01692	0,01692	0,1607	0,01823 0,01822	0,01823	205,916	0,4944	0,4942
	2.		9,9579	9,9815	0,01693 0,01695	0,01694	0,01693	0,1612	0,01825 0,01827	0,01826	205,824	0,4938	
	3.		9,9564	9,9824	0,01691 0,01695	0,01693	0,01693	0,1608	0,01823 0,01824	0,01824	205,860	0,4943	
V.	1.	6,5218	9,9560	9,9817	0,01692 0,01693	0,01693	0,01693	0,1622	0,01826 0,01828	0,01827	196,812	0,4789	0,4790
	2.		9,9563	9,9824	0,01690 0,01694	0,01692	0,01692	0,1617	0,01825 0,01826	0,01826	196,874	0,4789	
	3.		9,9566	9,9815	0,01693 0,01696	0,01695	0,01695	0,1621	0,01831 0,01827	0,01829	196,913	0,4793	
VI.	1.	13,0432	9,9567	9,9823	0,01713 0,01715	0,01714	0,01714	0,1607	0,01830 0,01832	0,01831	196,924	0,4222	0,4223
	2.		9,9567	9,9806	0,01720 0,01717	0,01719	0,01719	0,1612	0,01839 0,01836	0,01838	196,898	0,4223	
	3.		9,9570	9,9815	0,01706 0,01708	0,01707	0,01706	0,1608	0,01830 0,01833	0,01832	196,876	0,4224	

No. 8

K Cl + Agar-Agar.

Nr. der Lösung	Nr. des Versuchs	Kolloidgehalt in Gewichts-Prozenten	Gewicht von 10 ccm Lösung vor der Elektr.	Gewicht von 10 ccm Lösung nach der Elektr.	Analyse der urspr. Lösung gr. Cl Einzelanalyse	Analyse der urspr. Lösung gr. Cl Mittel	Analyse der neutralen Schicht	Im Voltameter abgeschiedene Silbermenge	Analyse der Anodenflüss. gr. Cl Einzelanalyse	Analyse der Anodenflüss. gr. Cl Mittel	Gewicht der Anodenflüssigkeit	Überführungszahl des Chlors Einzelwert	Überführungszahl des Chlors Mittel
I.	1.	0,0186	9,9536	9,9798	0,01653 0,01656	0,01655	0,01654	0,1589	0,01824 0,01823	0,01824	161,124	0,5072	0,5070
	2.		9,9540	9,9787	0,01654 0,01655	0,01655	0,01655	0,1579	0,01825 0,01821	0,01823	161,212	0,5070	
	3.		9,9528	9,9783	0,01654 0,01658	0,01656	0,01655	0,1586	0,01822 0,01826	0,01824	161,113	0,5068	
II.	1.	0,0367	9,9518	9,9805	0,01654 0,01656	0,01655	0,01655	0,1560	0,01822 0,01819	0,01821	161,125	0,5034	0,5031
	2.		9,9528	9,9794	0,01659 0,01661	0,01660	0,01659	0,1574	0,01825 0,01827	0,01826	161,204	0,5031	
	3.		9,9531	9,9809	0,01653 0,01657	0,01655	0,01656	0,1562	0,01820 0,01820	0,01820	161,216	0,5029	
III.	1.	0,0738	9,9536	9,9796	0,01682 0,01685	0,01684	0,01684	0,1589	0,01812 0,01814	0,01813	205,912	0,4962	0,4964
	2.		9,9535	9,9789	0,01693 0,01689	0,01691	0,01690	0,1579	0,01823 0,01819	0,01821	206,124	0,4964	
	3.		9,9531	9,9792	0,01684 0,01688	0,01686	0,01687	0,1586	0,01815 0,01817	0,01816	205,075	0,4966	
IV.	1.	0,1465	9,9548	9,9803	0,01703 0,01709	0,01706	0,01706	0,1560	0,01828 0,01830	0,01829	206,224	0,4768	0,4769
	2.		9,9542	9,9784	0,01713 0,01712	0,01713	0,01712	0,1574	0,01835 0,01837	0,01836	206,117	0,4767	
	3.		9,9547	9,9812	0,01711 0,01711	0,01711	0,01714	0,1562	0,01832 0,01836	0,01834	206,215	0,4772	
V.	1.	0,2929	9,9551	9,9799	0,01712 0,01716	0,01714	0,01713	0,1589	0,01842 0,01840	0,01841	197,113	0,4632	0,4631
	2.		9,9550	9,9822	0,01713 0,01714	0,01714	0,01714	0,1579	0,01842 0,01838	0,01840	197,074	0,4629	
	3.		9,9560	9,9787	0,01707 0,01705	0,01706	0,01707	0,1586	0,01833 0,01830	0,01832	197,170	0,4632	
VI.	1.	0,5839	9,9563	9,9784	0,01713 0,01709	0,01711	0,01711	0,1560	0,01832 0,01829	0,01831	197,212	0,4468	0,4469
	2.		9,9578	9,9792	0,01714 0,01716	0,01715	0,01715	0,1574	0,01835 0,01837	0,01836	197,216	0,4472	
	3.		9,9577	9,9790	0,01712 0,01715	0,01714	0,01714	0,1562	0,01835 0,01833	0,01834	197,987	0,4467	

No. 9

H Cl + Pepton.

Nr. der Lösung	Nr. des Versuchs	Kolloidgehalt in Gewichtsprozenten	Gewicht von 10 ccm Lösung vor der Elektr.	Gewicht von 10 ccm Lösung nach der Elektr.	Analyse der urspr. Lösung. gr. Cl Einzelanalyse	Analyse der urspr. Lösung. gr. Cl Mittel	Analyse der neutralen Schicht	Im Voltameter abgeschiedene Silbermenge	Analyse der Anodenflüss. gr. Cl Einzelanalyse	Analyse der Anodenflüss. gr. Cl Mittel	Gewicht der Anodenflüssigkeit	Überführungszahl des Chlors Einzelwert	Überführungszahl des Chlors Mittel
I.	1.	0,0378	9,9224	9,9483	0,01677 0,01679	0,01678	0,01678	0,1563	0,01735 0,01738	0,01737	160,824	0,1703	0,1704
	2.		9,9245	9,9521	0,01675 0,01674	0,01675	0,01674	0,1559	0,01734 0,01734	0,01734	160,792	0,1706	
	3.		9,9264	9,9498	0,01677 0,01677	0,01677	0,01678	0,1567	0,01734 0,01736	0,01735	160,890	0,1704	
II.	1.	0,0760	9,9236	9,9512	0,01665 0,01672	0,01669	0,01670	0,1543	0,01724 0,01726	0,01725	160,623	0,1665	0,1662
	2.		9,9274	9,9534	0,01669 0,01668	0,01669	0,01668	0,1540	0,01720 0,01725	0,01723	160,594	0,1660	
	3.		9,9276	9,9521	0,01672 0,01668	0,01670	0,01670	0,1544	0,01728 0,01729	0,01727	160,582	0,1661	
III.	1.	0,1528	9,9273	9,9498	0,01662 0,01670	0,01666	0,01665	0,1563	0,01716 0,01718	0,01717	206,321	0,1617	0,1616
	2.		9,9294	9,9492	0,01666 0,01659	0,01663	0,01663	0,1559	0,01715 0,01711	0,01713	206,229	0,1613	
	3.		9,9279	9,9489	0,01654 0,01656	0,01655	0,01652	0,1567	0,01715 0,01714	0,01715	206,320	0,1618	
IV.	1.	0,3040	9,9288	9,9522	0,01668 0,01667	0,01668	0,01666	0,1543	0,01717 0,01718	0,01718	206,261	0,1562	0,1559
	2.		9,9283	9,9532	0,01672 0,01674	0,01673	0,01672	0,1540	0,01723 0,01723	0,01723	206,299	0,1560	
	3.		9,9279	9,9527	0,01670 0,01673	0,01672	0,01672	0,1544	0,01720 0,01724	0,01722	206,281	0,1556	
V.	1.	0,6080	9,9326	9,9535	0,01686 0,01689	0,01688	0,01688	0,1563	0,01730 0,01730	0,01730	197,440	0,1483	0,1486
	2.		9,9336	9,9514	0,01686 0,01686	0,01686	0,01687	0,1559	0,01727 0,01726	0,01727	197,437	0,1486	
	3.		9,9339	9,9530	0,01692 0,01689	0,01691	0,01691	0,1567	0,01730 0,01734	0,01732	197,421	0,1489	
VI.	1.	1,2173	9,9348	9,9499	0,01692 0,01696	0,01694	0,01694	0,1543	0,01729 0,01735	0,01732	197,592	0,1402	0,1404
	2.		9,9334	9,9491	0,01696 0,01695	0,01696	0,01696	0,1540	0,01731 0,01739	0,01735	197,437	0,1403	
	3.		9,9346	9,9483	0,01693 0,01689	0,01691	0,01690	0,1544	0,01728 0,01732	0,01730	197,505	0,1407	

No. 10

H Cl + Agar-Agar.

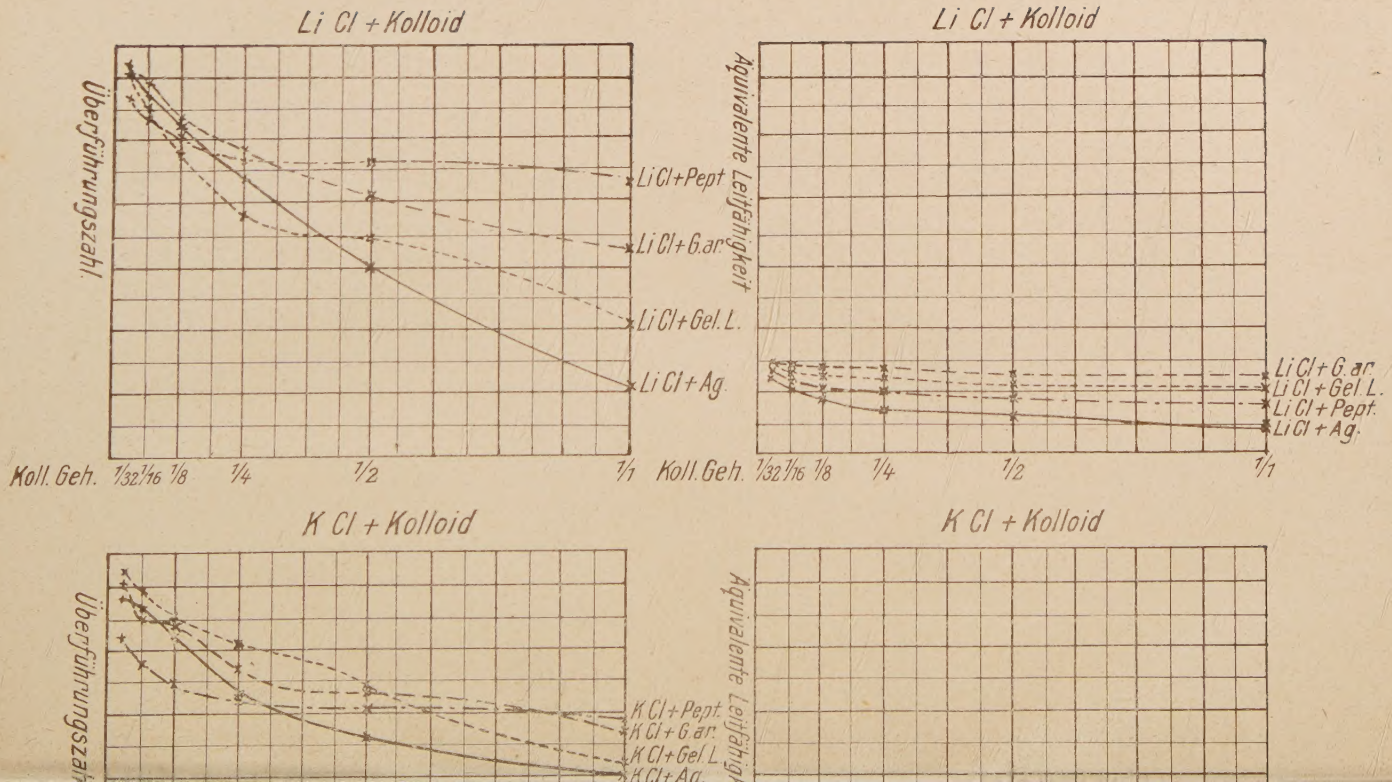
Nr. der Lösung	Nr. des Versuchs	Kolloidgehalt in Gewichts-Prozenten	Gewicht von 10 ccm Lösung vor der Elektr.	Gewicht von 10 ccm Lösung nach der Elektr.	Analyse der urspr. Lösung. gr. Cl Einzelanalyse	Analyse der urspr. Lösung. gr. Cl Mittel	Analyse der neutralen Schicht	Im Voltameter abgeschiedene Silbermenge	Analyse der Anodenflüss. gr. Cl Einzelanalyse	Analyse der Anodenflüss. gr. Cl Mittel	Gewicht der Anodenflüssigkeit	Überführungszahl des Chlors Einzelwert	Überführungszahl des Chlors Mittel
I.	1.	0,0175	9,9317	9,9523	0,01674 0,01678	0,01676	0,01676	0,1572	0,01732 0,01735	0,01734	160,924	0,1712	
	2.		9,9329	9,9571	0,01678 0,01677	0,01678	0,01677	0,1580	0,01737 0,01737	0,01737	169,811	0,1709	0,1710
	3.		9,9304	9,9567	0,01670 0,01673	0,01672	0,01671	0,1569	0,01732 0,01728	0,01730	160,900	0,1708	
II.	1.	0,0369	9,9341	9,9520	0,01670 0,01670	0,01670	0,01671	0,1554	0,01724 0,01725	0,01725	160,837	0,1624	
	2.		9,9277	9,9516	0,01681 0,01679	0,01680	0,01681	0,1559	0,01735 0,01735	0,01735	160,896	0,1625	0,1623
	3.		9,9295	9,9504	0,01677 0,01677	0,01677	0,01679	0,1558	0,01730 0,01734	0,01732	160,884	0,1621	
III.	1.	0,0724	9,9350	9,9472	0,01687 0,01691	0,01689	0,01688	0,1572	0,01729 0,01731	0,01730	206,732	0,1544	
	2.		9,9356	9,9480	0,01688 0,01687	0,01688	0,01688	0,1580	0,01728 0,01727	0,01728	206,540	0,1539	0,1540
	3.		9,9343	9,9463	0,01682 0,01685	0,01684	0,01683	0,1569	0,01724 0,01726	0,01725	206,637	0,1538	
IV.	1.	0,1453	9,9366	9,9482	0,01690 0,01692	0,01691	0,01692	0,1554	0,01730 0,01726	0,01728	206,567	0,1470	
	2.		9,9375	9,9488	0,01690 0,01689	0,01690	0,01690	0,1559	0,01727 0,01729	0,01728	206,598	0,1471	0,1472
	3.		9,9364	9,9493	0,01682 0,01684	0,01683	0,01689	0,1558	0,01730 0,01734	0,01732	206,546	0,1475	
V.	1.	0,2935	9,9337	9,9493	0,01692 0,01693	0,01693	0,01692	0,1572	0,01731 0,01733	0,01732	197,862	0,1406	
	2.		9,9345	9,9476	0,01696 0,01698	0,01697	0,01698	0,1580	0,01735 0,01739	0,01737	197,769	0,1407	0,1408
	3.		9,9377	9,9495	0,01692 0,01698	0,01695	0,01696	0,1569	0,01731 0,01736	0,01734	197,766	0,1411	
VI.	1.	0,5856	9,9384	9,9503	0,01690 0,01696	0,01693	0,01693	0,1554	0,01738 0,01732	0,01735	197,917	0,1346	
	2.		9,9383	9,9500	0,01692 0,01695	0,01694	0,01695	0,1559	0,01734 0,01735	0,01735	197,882	0,1343	0,1343
	3.		9,9377	9,9509	0,01692 0,01697	0,01695	0,01695	0,1558	0,01730 0,01734	0,01732	197,893	0,1340	

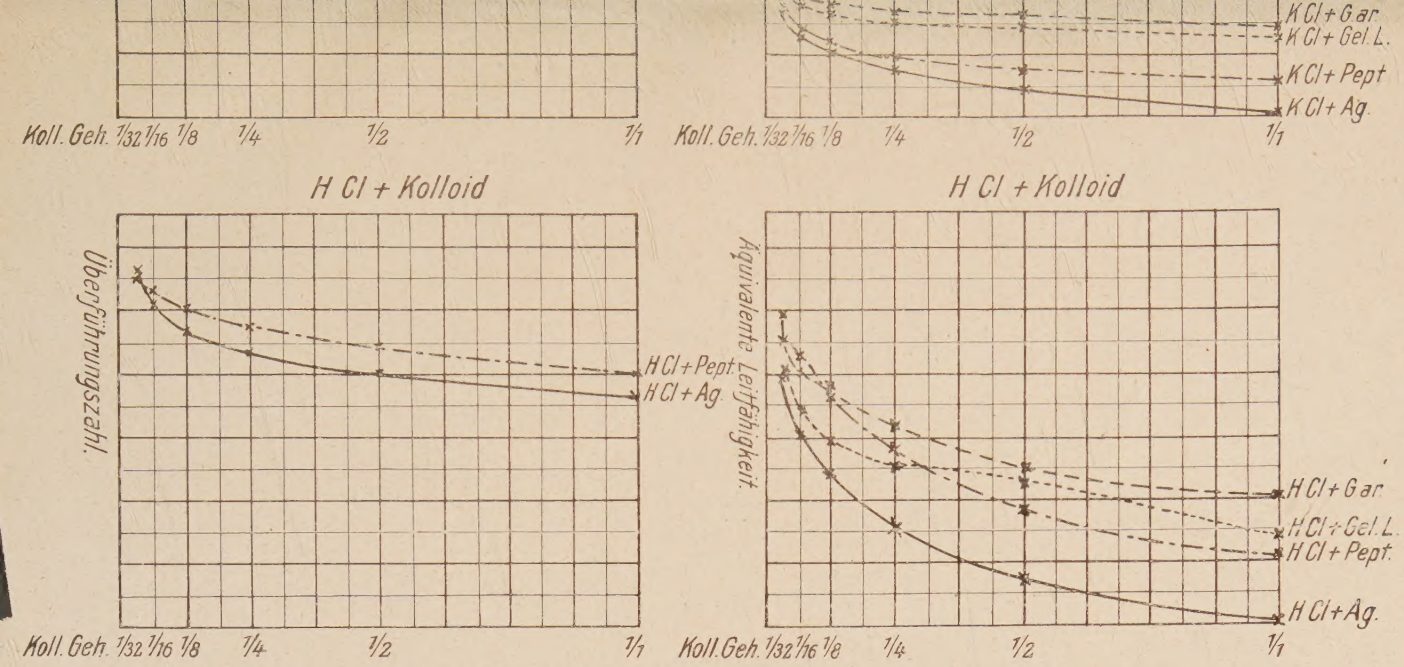
$$\varkappa_{18} = \frac{C}{w\,[1+(1-18)c]} \qquad C = 2{,}313 \qquad \begin{matrix} c \text{ für Li Cl} = 0{,}02380 \\ c \text{ für K Cl} = 0{,}02121 \\ c \text{ für H Cl} = 0{,}01640 \end{matrix} \quad ; \quad \Lambda = \frac{\varkappa_{18}}{\eta} \quad ; \quad l_a = n_a \Lambda$$

Lösung	$\varkappa_{18}\cdot 10^6$	Lösung	w	t	$\varkappa_{18}\,10^{-6}\eta$	Λ	l_a	Lösung	w	t	$\varkappa_{18}\,10^{-6}\eta$	Λ	l_a	Lösung	w	t	$\varkappa_{18}\,10^{-6}\eta$	Λ	l_a
		Li Cl	581,0	12,60	4367	0,05027	86,98	59,84	K Cl	430,4	13,58	5683	0,04893	116,1	59,80	H Cl	132,1	14,00	1793	0,04970	360,8	62,0
1/32 Pepton	5,815	Li Cl + 1/32 Pept.	589,1	12,63	4307	0,04967	86,72	58,43	K Cl + 1/32 Pept.	424,8	13,50	5758	0,04986	115,5	57,17	HCl + 1/32 Pept.	139,7	14,02	1694	0,04731	358,1	61,0
1/16 „	6,167	„ 1/16 „	592,7	12,61	4275	0,04953	86,49	57,73	„ 1/16 „	426,8	13,52	5731	0,04988	114,9	55,38	„ 1/16 „	140,9	14,03	1684	0,04709	357,6	59,4
1/8 „	8,492	„ 1/8 „	591,0	12,59	4298	0,04984	86,23	56,97	„ 1/8 „	428,3	13,51	5741	0,04992	114,4	54,95	„ 1/8 „	141,5	14,01	1673	0,04697	356,2	57,8
1/4 „	12,550	„ 1/4 „	589,5	12,62	4305	0,05005	86,01	56,37	„ 1/4 „	430,2	13,50	5683	0,04992	113,9	54,17	„ 1/4 „	141,8	14,00	1670	0,04714	354,6	55,2
1/2 „	15,726	„ 1/2 „	585,7	12,58	4338	0,05053	85,83	56,03	„ 1/2 „	431,1	13,50	5674	0,04995	113,6	53,58	„ 1/2 „	140,9	14,03	1680	0,04762	352,8	52,4
1/1 „	18,039	„ 1/1 „	582,6	12,62	4366	0,05099	85,62	55,59	„ 1/1 „	432,3	13,52	5657	0,04997	113,2	52,99	„ 1/1 „	141,0	14,02	1679	0,04779	351,3	49,3
1/32 Gum.ar.	9,959	Li Cl + 1/32 G.ar.	579,9	12,65	4374	0,05035	86,88	59,27	K Cl + 1/32 G. ar.	423,1	13,52	5781	0,04988	115,9	59,29	H Cl + 1/32 G. ar.	132,4	14,03	1785	0,04982	358,9	
1/16 „	11,870	„ 1/16 „	582,9	12,63	4361	0,05023	86,96	59,02	„ 1/16 „	423,0	13,51	5782	0,04993	115,8	58,17	„ 1/16 „	132,7	14,08	1782	0,04990	357,2	
1/8 „	13,603	„ 1/8 „	580,5	12,64	4370	0,05035	86,84	57,72	„ 1/8 „	423,2	13,53	5779	0,04998	115,6	57,40	„ 1/8 „	132,8	14,05	1782	0,04999	356,5	
1/4 „	16,347	„ 1/4 „	581,6	12,65	4361	0,05029	86,70	56,44	„ 1/4 „	424,2	13,53	5763	0,04999	115,3	55,97	„ 1/4 „	132,8	14,10	1779	0,05007	355,4	
1/2 „	19,023	„ 1/2 „	593,4	12,63	4376	0,04948	86,62	55,64	„ 1/2 „	424,2	13,51	5765	0,05003	115,2	55,11	„ 1/2 „	133,2	14,09	1774	0,05011	354,1	
1/1 „	23,105	„ 1/1 „	583,2	12,65	4345	0,05021	86,52	54,19	„ 1/1 „	424,9	13,54	5753	0,05007	114,9	49,96	„ 1/1 „	133,8	14,09	1770	0,05013	353,2	
1/32 Gel. L.	8,637	Li Cl + 1/32 Gel L	647,3	12,63	3920	0,04511	86,92	59,34	K Cl + 1/32 Gel L	422,3	13,50	5792	0,04992	116,0	59,60	HCl + 1/32 Gel L	133,1	14,09	1776	0,04971	357,2	
1/16 „	10,596	„ 1/16 „	680,3	12,60	3734	0,04304	86,74	58,16	„ 1/16 „	423,1	13,52	5777	0,04993	115,7	58,88	„ 1/16 „	133,5	14,11	1772	0,04980	355,8	
1/8 „	13,093	„ 1/8 „	643,8	12,62	3943	0,04551	86,64	56,97	„ 1/8 „	424,4	13,54	5759	0,04996	115,3	57,76	„ 1/8 „	133,7	14,08	1769	0,04984	355,0	
1/4 „	15,672	„ 1/4 „	642,4	12,61	3953	0,04566	86,56	55,17	„ 1/4 „	425,0	13,52	5754	0,04999	115,1	56,89	„ 1/1 „	133,9	14,07	1768	0,04989	354,3	
1/2 „	17,927	„ 1/2 „	640,1	12,58	3969	0,04598	86,32	54,34	„ 1/2 „	425,4	13,51	5749	0,05003	111,9	55,03	„ 1/2 „	134,0	14,10	1765	0,04991	353,6	
1/1 „	21,993	„ 1/1 „	655,8	12,60	3890	0,04516	86,11	51,82	„ 1/1 „	426,4	13,53	5735	0,05008	114,5	48,35	„ 1/1 „	134,0	14,08	1766	0,05003	352,9	
1/32 Agar	6,278	Li Cl + 1/32 Agar	623,7	12,65	4066	0,01709	86,52	59,13	K Cl + 1/32 Agar	424,2	13,54	5762	0,04998	115,3	58,45	H Cl + 1/32 Agar	110,3	14,06	1683	0,04725	357,1	61,06
1/16 „	6,937	„ 1/16 „	611,7	12,62	4149	0,04819	86,10	58,01	„ 1/16 „	426,6	13,51	5733	0,05002	114,6	57,66	„ 1/16 „	140,9	14,04	1680	0,04729	355,3	57,66
1/8 „	8,025	„ 1/8 „	613,8	12,66	4131	0,04817	85,77	56,98	„ 1/8 „	428,2	13,53	5711	0,05005	114,1	56,65	„ 1/8 „	140,6	14,08	1683	0,04758	353,7	54,48
1/4 „	9,127	„ 1/4 „	606,1	12,61	4189	0,04903	85,42	55,38	„ 1/4 „	429,6	13,53	5692	0,05009	113,6	54,18	„ 1/4 „	140,9	14,09	1680	0,04771	352,1	51,82
1/2 „	12,638	„ 1/2 „	605,9	12,64	4187	0,04914	85,20	52,81	„ 1/2 „	432,5	13,52	5654	0,05009	112,9	52,28	„ 1/2 „	141,2	14,05	1676	0,04782	350,4	49,38
1/1 „	14,907	„ 1/1 „	599,4	12,63	4294	0,04984	84,93	49,48	„ 1/1 „	435,2	13,54	5616	0,05011	112,1	50,09	„ 1/1 „	141,9	14,08	1667	0,04774	349,0	46,87

$$R = \frac{s\tau}{s_1\tau_1} R_1 \qquad s_1 = 0{,}99862 \qquad \tau_1 = 203{,}2 \qquad R_1 = 0{,}01055$$

Lösung	m	$\frac{s_{18}}{4\,\text{vac.}}$	τ	R
Li Cl				
$^1/_{32}$ Pepton	20,0828	0,99908	216,1	0,011[illegible]
$^1/_{16}$ „	20,0833	0,99908	216,2	0,011231
$^1/_8$ „	20,0839	0,99913	216,1	0,011211
$^1/_4$ „	20,0844	0,99913	216,7	0,011256
$^1/_2$ „	20,0931	0,99960	217,0	0,011274
$^1/_1$ „	20,1012	1,00012	217,5	0,011307
$^1/_{32}$ Gum.ar.	20,0865	0,99928	223,0	0,011586
$^1/_{16}$ „	20,0917	0,99953	231,6	0,012032
$^1/_8$ „	20,1094	1,00040	262,0	0,013624
$^1/_4$ „	20,1398	1,00190	306,5	0,015965
$^1/_2$ „	20,1720	1,00350	405,3	0,021110
$^1/_1$ „	20,2258	1,00610	566,1	0,029627
$^1/_{32}$ Gel. L.	20,0861	0,99923	226,3	0,011756
$^1/_{16}$ „	20,0800	0,99943	250,3	0,013001
$^1/_8$ „	20,0983	0,99981	282,5	0,014685
$^1/_4$ „	20,1177	1,00083	328,0	0,017066
$^1/_2$ „	20,1545	1,00270	646,3	0,033692
$^1/_1$ „	20,2379	1,00680	827,1	0,043525
$^1/_{32}$ Agar	20,0834	0,99910	236,5	0,012007
$^1/_{16}$ „	20,0855	0,99923	238,2	0,012426
$^1/_8$ „	20,0891	0,99938	243,0	0,012627
$^1/_4$ „	20,0934	0,99960	250,0	0,012993
$^1/_2$ „	20,0971	0,99978	279,[illegible]	0,014513
$^1/_1$ „	20,1026	1,00008	327,1	0,017108
	20,1026	1,00008	203,3	0,010571
K Cl				
$^1/_{32}$ Pepton	20,1252	1,00130	207,0	0,010775
$^1/_{16}$ „	20,1288	1,00140	207,1	0,010783
$^1/_8$ „	20,1299	1,00140	207,2	0,010788
$^1/_4$ „	20,1[illegible]	1,00140	207,2	0,010789
$^1/_2$ „	20,1[illegible]	1,00140	207,3	0,010796
$^1/_1$ „	20,1436	1,00210	207,5	0,010811
$^1/_{32}$ Gum.ar.	20,1315	1,00150	221,8	0,011549
$^1/_{16}$ „	20,1339	1,00150	223,3	0,011642
$^1/_8$ „	20,1392	1,00210	225,1	0,011728
$^1/_4$ „	20,1[illegible]	1,00210	231,0	0,012047
$^1/_2$ „	20,1913	1,00410	250,2	0,013048
$^1/_1$ „	20,2369	1,00670	292,0	0,015251
$^1/_{32}$ Gel. L.	20,1324	1,00150	201,2	0,010476
$^1/_{16}$ „	20,1102	1,00190	204,0	0,010627
$^1/_8$ „	20,1451	1,00210	251,2	0,013088
$^1/_4$ „	20,1[illegible]	1,00260	317,4	0,016545
$^1/_2$ „	20,1655	1,00420	402,0	0,020968
$^1/_1$ „	20,1978	1,00480	521,3	0,027233
$^1/_{32}$ Agar	20,1278	1,00130	205,8	0,010715
$^1/_{16}$ „	20,1280	1,00130	207,3	0,010792
$^1/_8$ „	20,1287	1,00140	209,3	0,010897
$^1/_4$ „	20,1299	1,00140	212,2	0,011048
$^1/_2$ „	20,1333	1,00150	217,3	0,011315
$^1/_1$ „	20,1365	1,00180	227,6	0,011855
H Cl				
$^1/_{32}$ Pept	20,1135	1,00063	196,9	0,010243
$^1/_{16}$ „	20,1[illegible]	1,00[illegible]	207,3	0,010785
$^1/_8$ „	20,1156	1,00072	207,5	0,010796
$^1/_4$ „	20,1167	1,00076	207,6	0,010802
$^1/_2$ „	20,1182	1,00083	207,7	0,010807
$^1/_1$ „	20,1201	1,00093	207,9	0,010819
$^1/_{32}$ G. ar.	20,1189	1,00088	214,4	0,011157
$^1/_{16}$ „	20,1235	1,00110	220,5	0,011477
$^1/_8$ „	20,1313	1,00150	229,9	0,011971
$^1/_4$ „	20,1449	1,00210	241,3	0,012572
$^1/_2$ „	20,1821	1,00400	264,[illegible]	0,013795
$^1/_1$ „	20,2[illegible]	1,00610	2[illegible],0	0,011179
$^1/_{32}$ Gel. L	20,1171	1,00076	198,1	0,010323
$^1/_{16}$ „	20,1192	1,00088	229,2	0,011927
$^1/_8$ „	20,1279	1,00130	270,0	0,014055
$^1/_4$ „	20,1382	1,00180	282,1	0,014693
$^1/_2$ „	20,1584	1,00280	319,1	0,016652
$^1/_1$ „	20,1826	1,00410	363,2	0,018960
$^1/_{32}$ Agar	20,1139	1,00063	202,4	0,010529
$^1/_{16}$ „	20,1142	1,00063	205,1	0,010670
$^1/_8$ „	20,1150	1,00068	208,8	0,010863
$^1/_4$ „	20,1159	1,00072	210,1	0,010937
$^1/_2$ „	20,1168	1,00076	211,7	0,011021
$^1/_1$ „	20,1182	1,00083	223,3	0,011629


Li Cl + Kolloid
Überführungszahl.
Li Cl+Pept
Li Cl+G.ar.
Li Cl+Gel.L.
Li Cl+Ag.
Koll. Geh. 1/32 1/16 1/8 1/4 1/2 1/1
Li Cl + Kolloid
Äquivalente Leitfähigkeit
Li Cl+G.ar.
Li Cl+Gel L.
Li Cl+Pept.
Li Cl+Ag.
Koll. Geh. 1/32 1/16 1/8 1/4 1/2 1/1
K Cl + Kolloid
Überführungszahl
K Cl+Pept.
K Cl+G.ar.
K Cl+Gel L
K Cl+Ag.
K Cl + Kolloid
Äquivalente Leitfähigk



Abkürzungen: Pept. = Pepton. Gar. = Gummiarabikum. Gel. L. = Gelatineleim. Ag. = Agar-Agar.